

Jarkko Koski

Maalaserkeilaimen pistepilvien georeferoinnin vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK) -tutkinto
Rakentamisen koulutusohjelma
Maanmittauksen suuntautuminen
Opinnäytetyö
29.5.2012

Tekijä Otsikko	Jarkko Koski Maalaserkeilaimen pistepilvien georeferoinnin vertailu
Sivumäärä Aika	48 sivua + 21 liitettä 29.5.2012
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	maanmittaus
Ohjaaja(t)	osastopäällikkö Jukka Mäkelä yliopettaja Vesa Rope lehtori Jussi Laari
<p>Työssä tutkitaan maalaserkeilaimen georeferoinnin eroja eri menetelmillä. Menetelmien eroja verrataan myös kahdella eri mittausnopeudella ja samalla pistetiheydellä. Mittausnopeus vaikuttaa pistepilven hajontaan. Erojen selvittämiseksi mitattiin Vantaalle Martintalolle Jaakonkatu 2:n tiloihin mittarata.</p> <p>Laserkeilaukset suoritettiin Leica HDS6200 -laserkeilaimella. Vertailuaineistoksi mitattiin 50 mustavalkotähystä siten, että tähyksiä oli vähintään kolme kussakin laserkeilauksessa. Mittaradalle mitattiin 23 laserkeilausta molemmilla mittausnopeuksilla.</p> <p>Georeferoinnit suoritettiin Leica Cyclone 7.2 -ohjelmalla. Georeferoinnin mustavalkotähysten saamat arvot syötettiin Excel taulukkolaskentaohjelmaan jossa vertailu suoritettiin.</p> <p>Vertailussa tutkittiin takymetrillä mitattujen mustavalkotähysten arvoja georeferoinnin tuottamiin poikkeamiin. Georeferointi suoritettiin kymmenellä eri menetelmällä. Poikkeamat kertovat pistepilvien yhdistämisen laadun. Tulokset osoittivat kiistatta georeferoinnin menetelmien heikkoudet ja myös vahvuudet.</p> <p>Tutkimuksen tuloksien perusteella laaditaan Pöyry Finland Oy:lle uusi laserkeilaus- ja georeferointiohjeet projektityöskentelyyn.</p>	
Avainsanat	laserkeilaus, georeferointi, HDS6200-laserkeilain, mustavalkotähys, pallotähys, pistepilvi

Author Title	Jarkko Koski Comparison of registrations with point clouds of terrestrial laser scanning.
Number of Pages Date	48 pages + 21 appendices 29 May 2012
Degree	Master`s Degree in Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Land Surveying
Supervisor Instructors	Jukka Mäkelä, Department Manager Vesa Rope, Principal Lecturer Jussi Laari, Lecturer
<p>The aim of this project was to compare registrations with different methods. Registrations were compared with two different speeds of terrestrial laser scanning with the same density of point clouds. Measuring speed affect the standard deviation of point clouds. A test field was scanned to Pöyry office in Vantaa, Jaakonkatu 2.</p> <p>Laser scanning was made with Leica HDS6200 –laser scanner. 50 Black&White –targets were surveyed in the test field. Every scan included at least 3 Black&White –targets. The test field contained 23 scans with both scanning speeds.</p> <p>The Leica Cyclone 7.2 –program was used for registrations. The values of Black&White –targets in every registration were saved in Excel –program where the comparison was made.</p> <p>Black&White –targets were measured with total station and the results of registrations were compared to them. Georeferations were calculated in 10 different ways. The registration results show about the quality of georeferation. The results showed unambiguously registrations the weaknesses and strengths of the registrations. New instructions of project procedure for Pöyry Finland Oy will be based on this comparison project.</p>	
Keywords	Laser Scanning, Registration, HDS6200 - Laser Scanner, Black&White –Target, Sphere Target, Point Cloud

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Mittausvälineet	2
2.1	Takymetrikalusto	2
2.2	Laserkeilauskalusto	3
2.3	Tähykset	5
2.3.1	Mustavalkotähyys	5
2.3.2	Pallotähyys	7
2.3.3	Kohteiden mallinnus	9
2.4	Ohjelmisto	11
3	Mittarata	12
4	Laserkeilausdatan georeferointi	14
5	Georeferointimenetelmät	18
5.1	Pallotähykset	18
5.2	Pallotähykset ja leveled-toiminto	20
5.3	Pallotähykset ja 2 pistepilveä mustavalkotähyksillä	22
5.4	Pallotähykset ja 5 pistepilveä mustavalkotähyksillä	24
5.5	Pallotähykset ja mustavalkotähykset	26
5.6	Mustavalkotähykset	28
5.7	Mustavalkotähykset ja leveled-toiminto	30
5.8	Cloud to cloud -menetelmä	32
5.9	Cloud to cloud -menetelmä verkkona	35
5.10	Cloud to cloud -menetelmä verkkona ja 5 mustavalkotähyksellä	37
6	Tulosten käsittely	39
7	Yhteenveto	46
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1. Georeferointien poikkeamat	
	Liite 2. Poikkeamien jakautuminen	

1 Johdanto

Työn tavoitteena oli tutkia maalaserkeilaimella tuotettujen pistepilvien georeferoinin eroja eri menetelmillä. Samalla selvitettiin kahden eri mittausnopeuden vaikutusta georeferointiin. Erojen tutkimuksellista tarkastelua varten mitattiin Vantaalle Jaakonkatu 2, Martintalossa mittarata. Mittaradan pitää vastata luonteeltaan useita Pöyry Finland Oy:n jo suorittamia ja tulevia laserkeilausprojekteja. Tällä halutaan selvittää ne seikat, jotka antavat parhaan mahdollisen georeferointituloksen työ- ja kustannustehokkuutta unohtamatta.

Mittarata käsitti 15–25 laserkeilausta molemmilla mittausnopeuksilla. Georeferointia varten mittaradalle asetettiin pallotähyksiä ja mustavalkotähyksiä siten, että kummakin tähystyypillä voitiin pistepilvijonot laskettaa georeferoinnissa. Laskennallisena vertailuaineistona käytetään takymetrillä mitattuja mustavalkotähyksien koordinaatteja. Kokemuksesta on arvioitu, että pallotähyksillä tehtävä georeferointi on heikoin menetelmä. Mustavalkotähyksien taas oletetaan olevan kaikkein paras. Cloud to cloud -menetelmän on arveltu olevan lähes yhtä hyvä menetelmä mustavalkotähysten kanssa. Georeferoinnin eroja tullaan arvioimaan kokonaisuutena johon vaikuttavat koordinaattierot, työmäärä ja kustannukset.

2 Mittausvälineet

Mittalaitteet ovat merkittävä tekijä aineiston laadun kannalta. Heikoilla mittalaitteilla ei mittausdatasta saa laadittua hyviä lopputuotteita. Vaikka nämä tekijät olisivatkin kunnossa, saattaa laadun kompastuskivenä olla apuvälineiden kuten tähysten ja menetelmien huono laatu. Mittalaitteina käytettiin Leica Geosystems'in valmistamia laserkeilainta ja takymetriä.

2.1 Takymetrikalusto

Tähtysmittauksen merkityksen kannalta oli oleellista käyttää laadukasta takymetriä. Tähän tarkoitukseen sopivana kalustona käytettiin Leica Viva TS15 -takymetriä. (Kuva 1.) Takymetrin etäisyysmittauksen tarkkuus prismaan on $1 \text{ mm} + 1,5 \text{ ppm}$ ja kulmatarkkuus $2''$ ($0,6 \text{ mgon}$). Etäisyysmittauksen tarkkuus heikentyy mitattaessa ilman prismaa. Laserilla mitataan prismattomasti mustavalkotähykset, joita käytetään laserkeilausten georeferointiin. Tällöin etäisyysmittauksen tarkkuus on $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$. Takymetrikalustoa voi käyttää myös robottiominaisuudella. [1]



Kuva 1. Mittauksissa käytetty Leica Viva TS15 -takymetri.

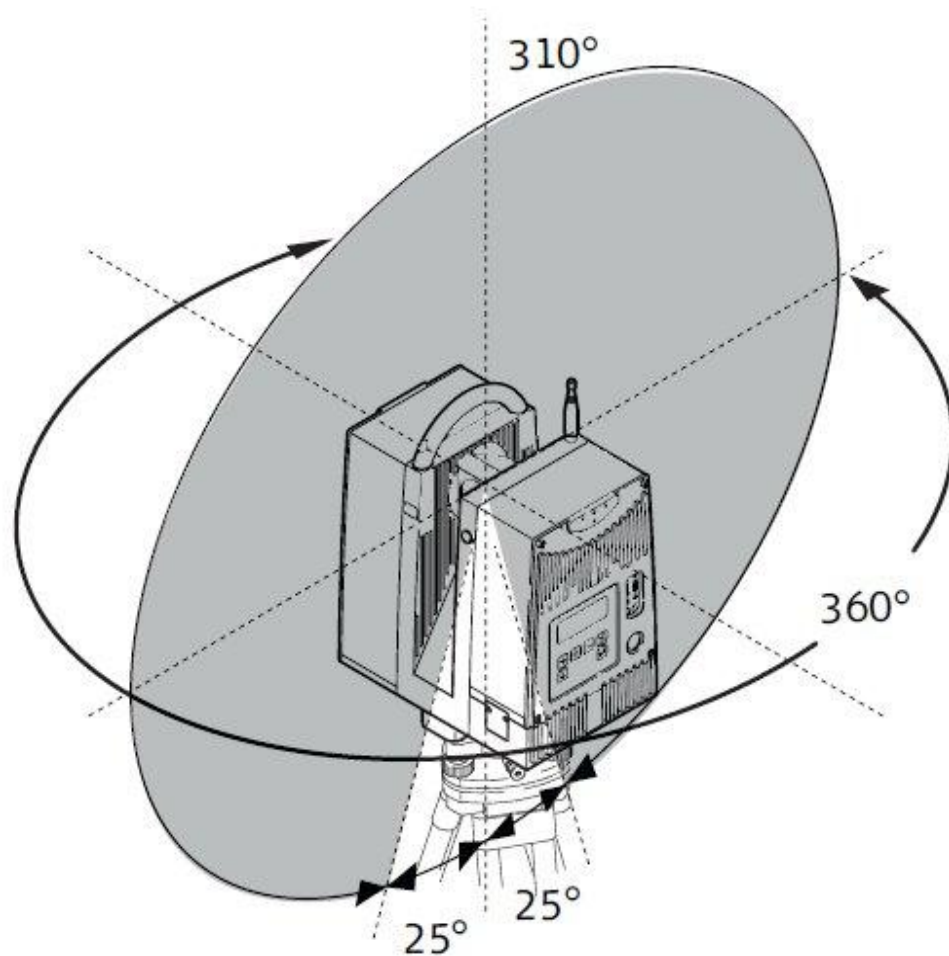
2.2 Laserkeilauskalusto

Laserkeilain päivitettiin HDS6000-laserkeilaimesta HDS6200-laserkeilaimeksi heinäkuussa 2011. (Kuva 2.) Päivityksellä haettiin laserkeilaimelle lisää pakkaskestävyyttä. Laserkeilaimen toimintalämpötila laski $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:sta $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Pistetarkkuus parani 6 mm :stä 5 mm :iin $0,4\text{--}25$ metrin mittausetäisyydellä. Mittausmenetelmänä käytetään vaihe-eromittausta. Laserkeilaimen mittausnopeus vaikuttaa aineiston hajontaan. Käyttäjä voi valita kaikille viidelle mittaustiheydelle 3 eri mittausnopeutta. Parhaimmillaan HDS6200-laserkeilain mittaa $127\ 000$ mittausta sekunnissa. Käytännössä mittauksia kertyy n. $100\ 000$ sekunnissa. Tämä johtuu vaaka-akselin siirtymään kuluvaan ajan hidastavasta vaikutuksesta. [2; 3.]



Kuva 2. Pistepilviaineisto mitattiin Leica HDS 6200 -laserkeilaimella.

HDS6200-laserkeilain on tiedonkeruumenetelmältään kupolimainen laserkeilain. Mittausalue on 360° vaaka- ja 310° pystykulman kupoli. (Kuva 3.) Yleisimmin mittaustiheytenä käytetään Middle (n. 2500×5000 ruudukko). Tällä tiheydellä normaalilla mittausajalla 1 min 40 s pisteitä kertyy n. 10 000 000. Mittausetäisyys on 0,5–79 metriä. Pisteiden keskinäinen etäisyys 10 metrin päässä on $12,6 \text{ mm} \times 12,6 \text{ mm}$. Integroidulla kompensatorilla korjataan tasauksen virhettä z-akselin saattamiseksi maan vetovoiman suuntaiseksi. Tätä voidaan käyttää hyväksi georeferoinnin laskennassa poistamalla akselin suunta laskennasta. Laserkeilaimessa on 60 GB kiintolevy, jolle mittaukset tallentuvat. Mittaukset siirretään tietokoneelle tai siirrettävälle kovalevylle työpäivän päätteeksi. [2; 3; 4.]



Kuva 3. HDS6200-laserkeilaimen mitta-alue [3].

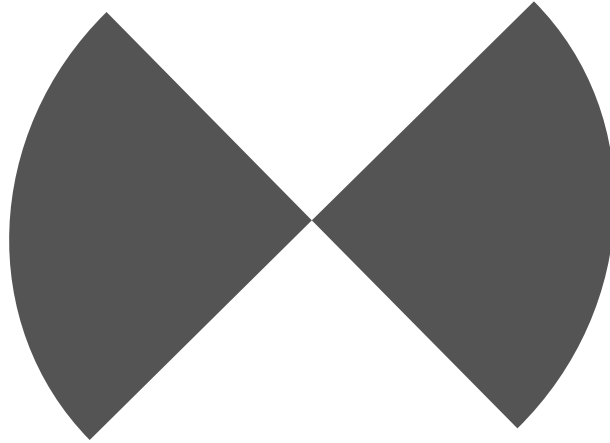
2.3 Tähykset

2.3.1 Mustavalkotähys

Mustavalkotähys on laitevalmistajan suunnittelema tähystyyppi. Kyseinen tähys on tulostettavissa tavallisella tulostimella. Valmis tiedosto tulee Leica Cyclone -ohjelmiston mukana. Tähyksen koko on A4, mutta tähyksen kokoa voi muuttaa. Laitevalmistajan suosituksen mukaan tähyksen asemointi tulisi olla tavallisesti 1–15 metrin etäisyydellä laserkeilaimesta. Valmiissa tiedostossa on kaksi $\frac{1}{4}$ -pallon siivua vastakkaisissa kulmissa. (kuva 4.) Siivujen asento on sellainen, että leikkaavat linjat ovat pystyasennossa. [3; 4.]

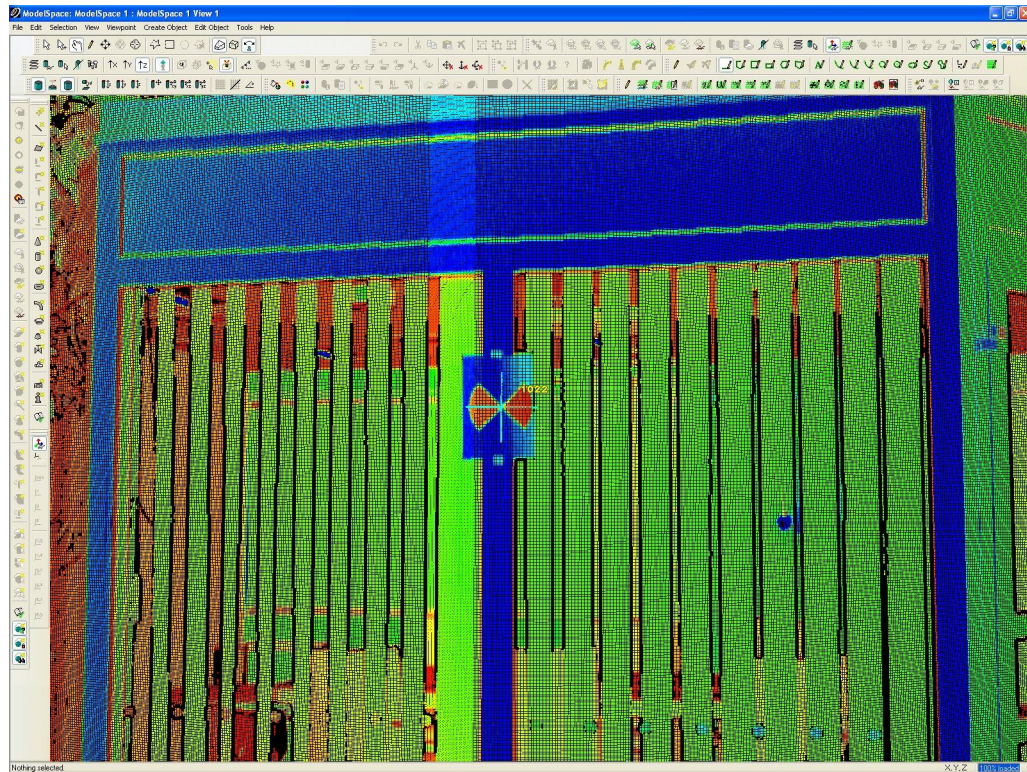


Kuva 4. Cyclone-ohjelman mukana tuleva mustavalkotähys [3].



Kuva 5. Mustavalkotähyksen suositeltava asettelu laserkeilauskohteeseen [6].

Pitemmillä mittausmatkoilla mallinnustarkkuutta voi parantaa kallistamalla tähystä n. 45° (kuva 5). Tällä parannetaan leikkaavien linjojen selkeyttä. Keskipiste saadaan tarkemmin laskettua oikeaan paikka, koska keskipiste ei jää pystylinjojen väliselle näky-mättömälle alueelle. Vaihe-eromittaus vaikuttaa kuvion intensiteetin erottumiseen näin paremmin. Linjojen väli kasvaa etäisyyden mukaan. Tämä korostuu erityisesti silloin kun tähykset mallinnetaan jälkikäteen. Tällöin pistetiheyttä ei enää voida kasvattaa. Mallinnuksessa käytetään hyväksi kuviotunnistuksen laskentamenetelmiä. [3; 4.]



Kuva 6. Mustavalkotähys mallinnettuna ja nimettynä pistepilveen

Mustavalkotähykset yksilöidään pistepilviin juoksevana numerona takymetrimittausten mukaan (kuva 6). Mikäli kyseistä mustavalkotähystä ei ole mitattu takymetrillä, numerointi voidaan aloittaa juoksevana selkeästi erottuvalla numerolla esim:1000. [6]

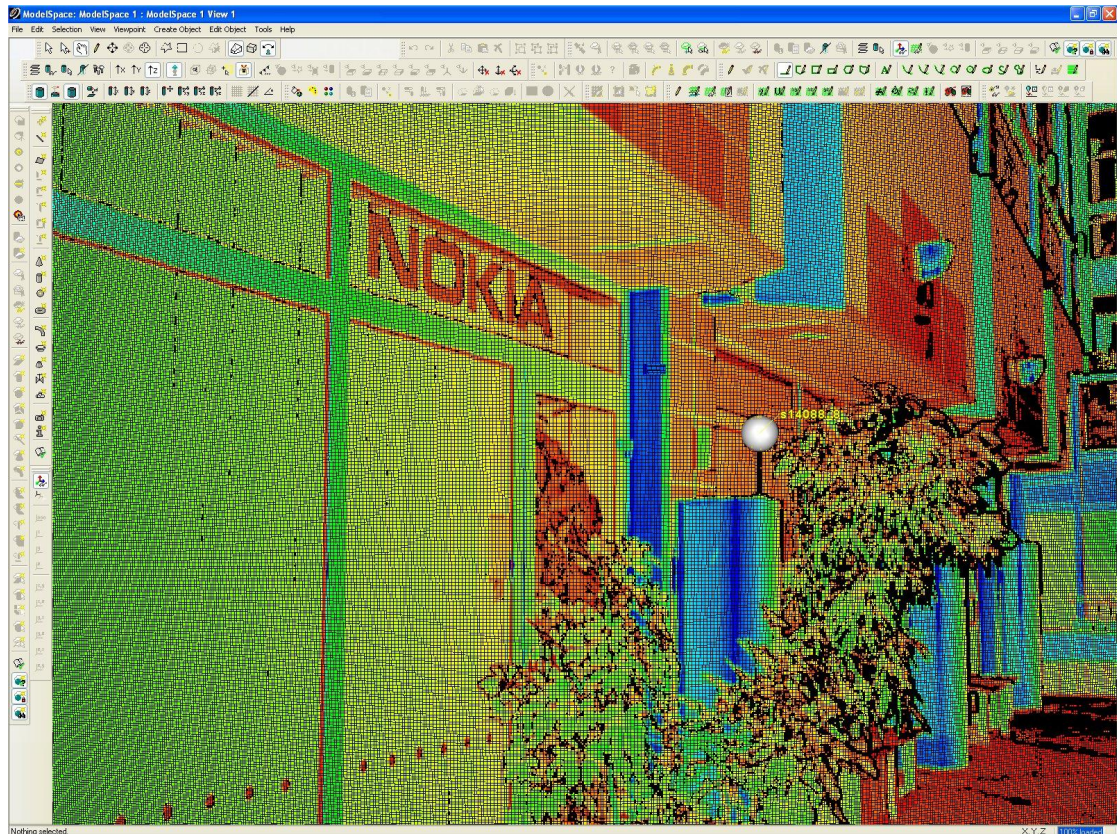
2.3.2 Pallotähys

Pöyry Finland Oy (aikaisemmin Maa ja Vesi Oy) aloitti pallotähysten käytön jo vuonna 2000 jolloin laitevalmistajilla tällaisia tarvikkeita ei vielä ollut tarjota. Nykyisin markkinoilla on useita erilaisia puolipallotähyksiä, jotka on mahdollista mitata takymetrillä. Pallotähyksiä ei mitata takymetrillä vaan niitä käytetään liitospisteinä laserkeilausten keskinäisten yhdistämisessä. Nykyään käytössä olevat Pöyry Finland Oy:n pallotähykset ovat oman kehitystyön tulosta [6] (Kuva 7.).



Kuva 7. Pallotähys on sijoitettuna mittauskohteessa [5].

Pallojen tulee olla muodoltaan mahdollisimman pyöreitä, jotta mallinnettaessa eri puolilta niiden keskipisteet mallintuisivat samaan paikkaan. Pallotähykset pitää mallintaa siten että niiden reuna-alueita ei oteta mallinnukseen mukaan. Reuna-alueilla on selkeästi virheellisiä mittauksia jotka, johtuvat siitä, että säde palaa laserkeilaimeen useasta kohteesta. Mallinnuksessa käytetään geometrista laskentamenetelmää. [3; 4]



Kuva 8. Pallotähys mallinnettuna ja nimettynä pistepilvessä.

Pallotähykset yksilöidään pistepilvien mukaan. (Kuva 8.) Ne saavat etuliitteen s (Sphere) ja sen pistepilven numeron, jossa se esiintyy ensimmäisen kerran, sekä alaviivan ja järjestysnumeron pistepilvessä esiintyvien uusien pallotähysten mukaan juoksevana numerona (esim. s14444_1). [6]

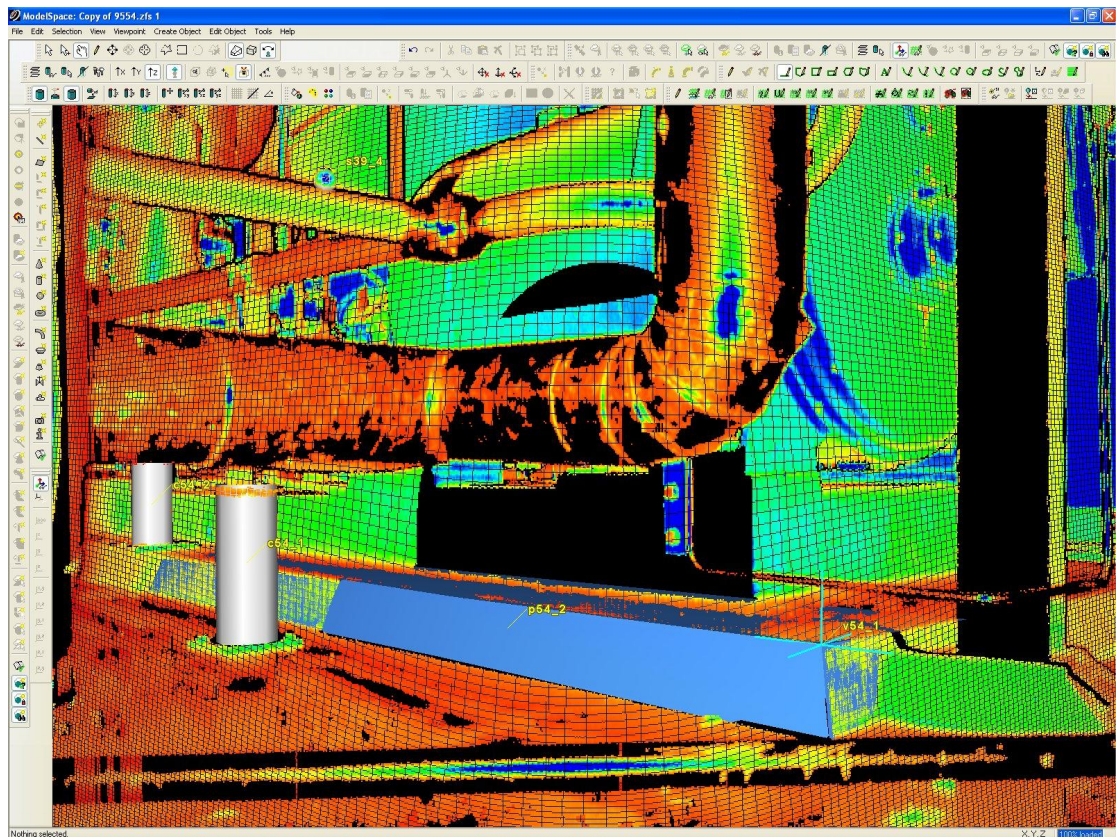
2.3.3 Kohteiden mallinnus

Toisinaan tarvitaan georeferoinnin tarkkuuden varmistamiseksi kohteiden mallintamista. Kohteiden mallinnuksessa on oleellista varmistua siitä, että kohteet ovat varmasti samoja yhdistettävissä pistepilvissä. Parhain ja yksiselitteisin on kolmen tason leikkauspiste eli vertex, joka voidaan mallintaa corner-toiminnolla esim. huoneiden nurkkiin [3; 4; 6] (Kuva 9.).

Muita käytettyjä mallinnettuja kohteita ovat putket ja tasot. Näitä kohteita ei kuitenkaan tule käyttää useiden pistepilvien georeferoinneissa. Ne eivät ole yksiselitteisiä, ja

toisinaan on mallinnettu virheellisesti. Yleensä putkissa on telottuja lämpösuojia ja tasot, kuten seinät, eivät ole samasta kohtaa tai samansuuntaisia.

Kohteiden mallinnuksessa käytetään geometristä sovituskentää. [4; 5; 6.]

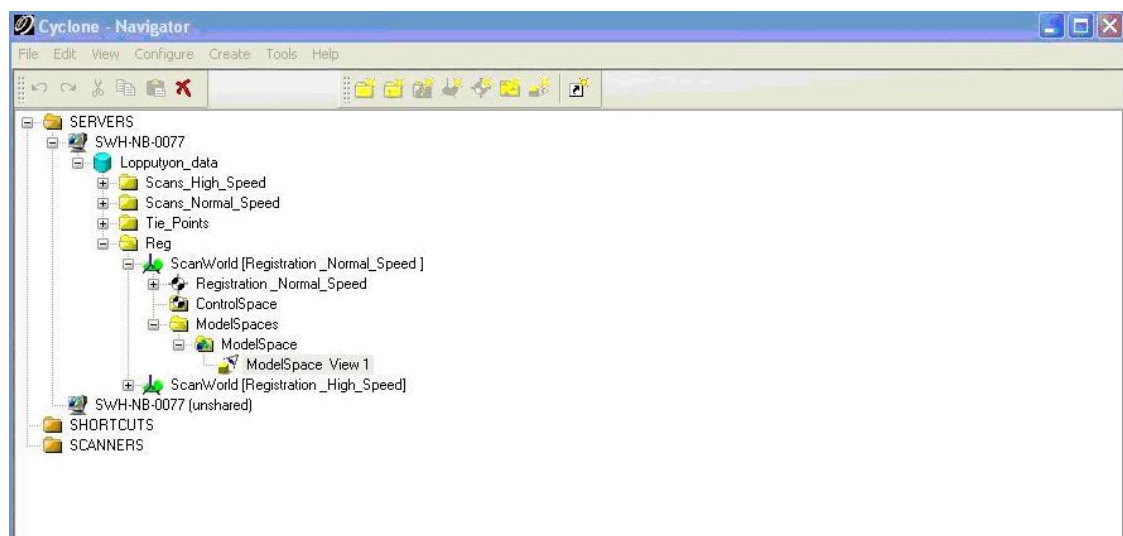


Kuva 9. Sylinterit, tasot ja kulma mallinnettuina ja nimettyinä pistepilveen.

Kohteiden yksilöimisessä käytetään pistepilven numeron ja järjestysnumeron etuliitteenä tunnuksia kohteen mukaan v (Vertex), c (Cylinder), p (Patch) jne. (esim. v14444_1) [5; 6.]

2.4 Ohjelmisto

Mittaukset puretaan ZFS-formaatista Leica Cyclone PCE 2.0.0-formaattiin Leica Cyclone 7.2 -ohjelmalla. Tietojen purussa tietokantaan kasvaa tiedostojen koko n. 2,5 kertaisesti. Leica Cyclone -ohjelmisto on modulaarinen, ja se koostuu seitsemästä osasta. Pöyry Finland Oy:llä on käytössä Model-, Register-, TruView-PuBlicher- ja Scan-moduuleita. Lisenssejä on kaikkiaan 10. Lisäksi kahdessa Register-moduulissa on cloud to cloud –menetelmän lisenssi. Tietokoneessa tulisi olla 40 GB vapaata tilaa kovalevyllä, jotta ohjelma toimisi parhaalla mahdollisella teholla. Suositeltava keskusmuisti on 4 Gb.



Kuva 10. Cyclone-ohjelman projektin rakenne navigointi ikkunassa.

Cyclone-ohjelman keskeinen työkalu on navigointi ikkuna (Kuva 10.). Ohjelman eri modulosat osat saadaan käyttöön kyseisen ikkunan kautta. Ikkunaan valitaan haluttu tietokanta ja sen alle jaotellaan laserkeilaukset (Scans), tähysmittaukset (Tie_Points) ja georeferoinnit (Reg) omiin projekteihin. Tähkyt mallinnetaan Scans-projektien pistepilviin. Mallinnus tehdään Reg-projektien georeferoituihin pistepilviin.

3 Mittarata

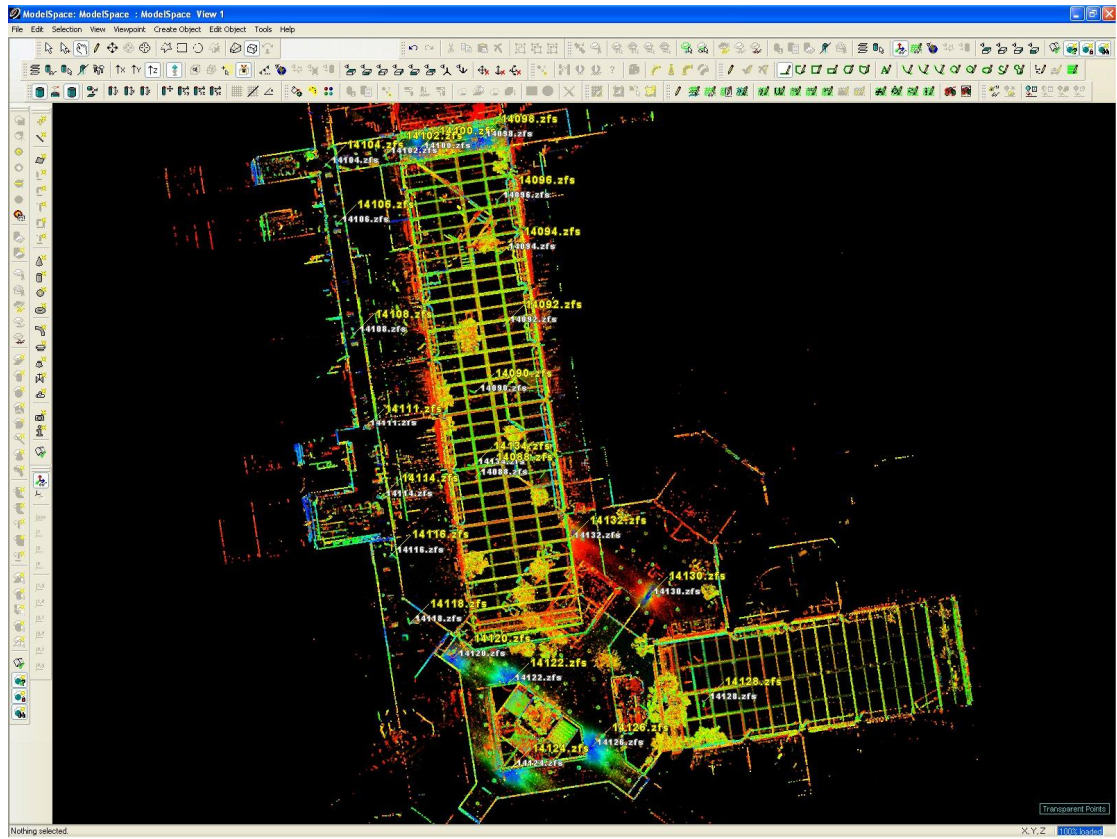
Mittarata laadittiin siten että se vastaisi mahdollisimman hyvin useita Pöyryn työkohteita. Kohteina se vastaa rakennusmittauksia, tunneli, ym. kohteita, joissa ei ole tärinää ja näkyvyyttä haittaavia tekijöitä. Useimpiin teollisuuskohteisiin tulokset eivät päde.

Mittarata rakennettiin toimistolle siten, että mittausreitti aloitettiin Jaakonkatu 2 Martintalon 1. kerroksen aulasta. Reitti kulki aula- ja käytävätilojen kautta takaisin aulatiilaan sulkeutuvana lenkinä. Näin saatiin tehtyä lenkki, jolla pystyttiin selvittämään reitillä tapahtuvia georeferoinnin eroja entuudestaan tunnettuihin pisteisiin.

Kaikilta laserkeilausasemalta mitattiin kaksi keilausta samalla mittaustiheydellä mutta eri nopeuksilla: NormalSpeed 1 minuutti ja 40 sekuntia ja HighSpeed 50 sekuntia. Laserkeilauksia mitattiin mittaradalla kaikkiaan 46 eli 23 laserkeilausta kummallakin nopeudella. (Kuva 11.)

Jotta erilaisia georeferoinnin eroja kyetään selvittämään, tarvittiin jokaiselle laserkeilausasemalle näkyviin vähintään kolme mustavalkotähystä ja kolme pallotähystä. Mittaradalle sijoitettiin kaikkiaan 50 mustavalkotähystä. Mittaradalle mitattiin apupisteitä kuten laserkeilausprojekteissa. Mustavalkotähykset mitattiin takymetrillä viideltä asemapisteeltä vapaassa koordinaatistossa. Takymetri orjentoitiin vapaana asemapisteestä. [3; 4.]

Pallotähyksiä ei mitattu takymetrillä vaan ne mallinnettiin ja niillä vietiin jonoa eteenpäin. Pallotähysten mittaaminen takymetrillä olisi aikaavievää, eikä se juurikaan parantaisi luotettavuutta. Takymetrillä tulisi mitata riittävästi pallotähyksistä pisteitä, joilla pallotähyys mallinnettaisiin. Tällä ei kuitenkaan pystytä korjaamaan muotovirheitä.



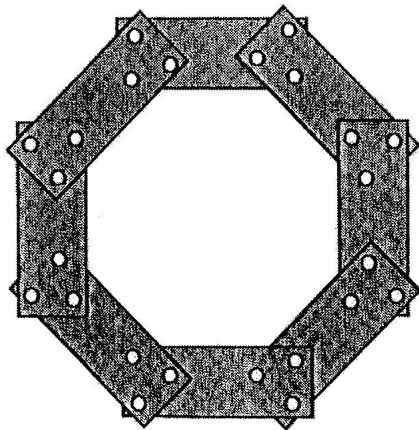
Kuva 11. Mittaradan laserkeilaukset mittauksilla.

4 Laserkeilausdatan georeferointi

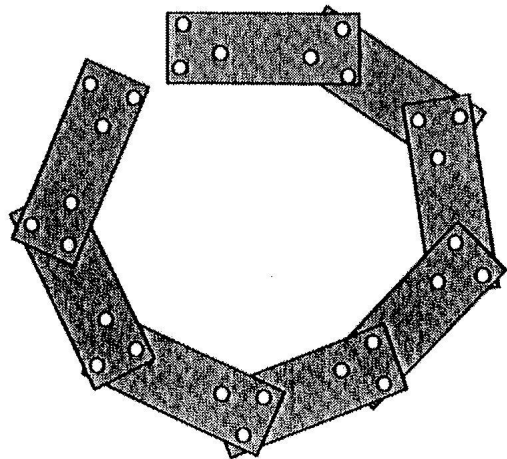
Laserkeilausdatan georeferoinnilla tarkoitetaan pistepilvien yhdistämistä toisiinsa ja liittämistä haluttuun koordinaatistoon. Kukin pistepilvi on aina ennen georeferointia omassa suorakulmaisessa koordinaatistossaan. Yleensä valitaan georeferoinnin listalle ensimmäiseksi se pistepilvi tai mittausdata, joka määrittää kaikkien pistepilvien koordinaatiston. Oletusasetuksena georeferoinnin ensimmäinen pistepilvi määrittää koordinaatiston. Tätä voidaan toki vaihtaa georeferoitavien pistepilvien ja mittausdatojen välillä. Koordinaatiston siirrolla tarkoitetaan mittausdatan siirtämistä valtakunnallisiin tai paikallisiin esim. tehdaskoordinaatistoihin. [3; 4.]

Pistepilvet mitataan yleensä jonomaisesti ja mahdollisuuksien mukaan lisätään sidoksia muihinkin aikaisempiin mittauksiin tähysten avulla. Georeferointi tulisi suorittaa siten, että mittaukset suoritetaan sulkeutuvina mittauksina tunnettuihin tähyksiin (Kuva 12a). Piikkimittauksia (Kuva 12b.) ei pidä suorittaa vaan piikin päähän on mitattava takymetrillä mustavalkotähykset tai mitata jonona koordinaateiltaan tunnettuihin tähyksiin saakka. Mikäli kohteessa on hankala mitata takymetrillä tai takymetrimittaus ei ole kustannustehokasta, on syytä laserkeilata jono edestakaisin tunnettuihin tähyksiin vaikka pistepilviaineistolle ei takaisin tullessa olisikaan tarvetta. [3; 4.]

a)



b)

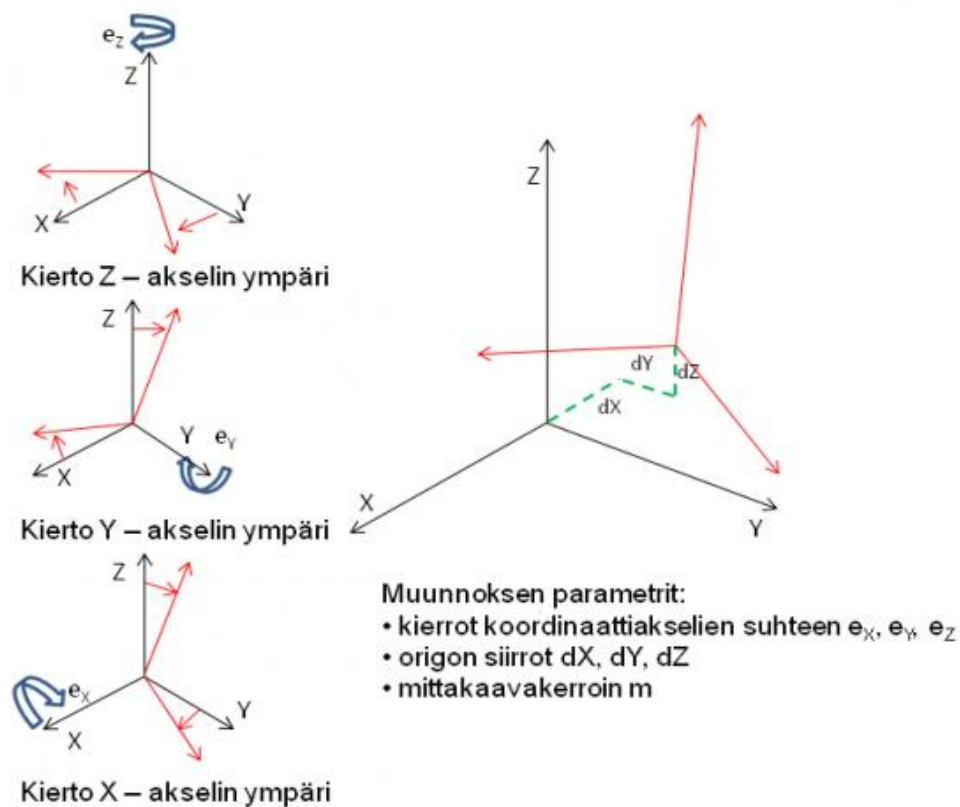


Kuva 12. Laserkeilaukset tulee mitata sulkeutuvana [4; 5].

Tähykset mallinnetaan ModelSpace-ikkunassa ja yksilöimisellä tähyys kopioituu ControlSpace-ikkunaan. Georeferoinnissa käytetään kohteita, jotka ovat ControlSpacessä. [4; 5; 6.]

Mikäli georeferoinnin laskennassa havaitaan ongelmia, voidaan yksilöinnin avulla nopeasti tunnistaa ja korjata virheelliset tähykset. Yksilöinti kertoo, missä pistepilvessä tähyys on ja minkälainen tähyys on kyseessä. [5; 6.]

Georeferoinnin laskennassa käytetään vastinpisteiden siirtoa ja kääntöä 7-parametrisellä Helmert-muunnoksen eli kolmiulotteisen yhdenmuotoisuusmuunnoksen avulla (kuva 13). Tämän lisäksi tarkkuutta parannetaan Bundle-menetelmällä, joka käytännössä tarkoittaa pienimmän neliösumman (pns) -menetelmää. [4; 7; 11.]



Kuva 13. Muunnoksen parametrien havainnekuva [8].

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = (1 + m)R_3R_2R_1 \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix}$$

X_2 on laskettava X koordinaattiarvo

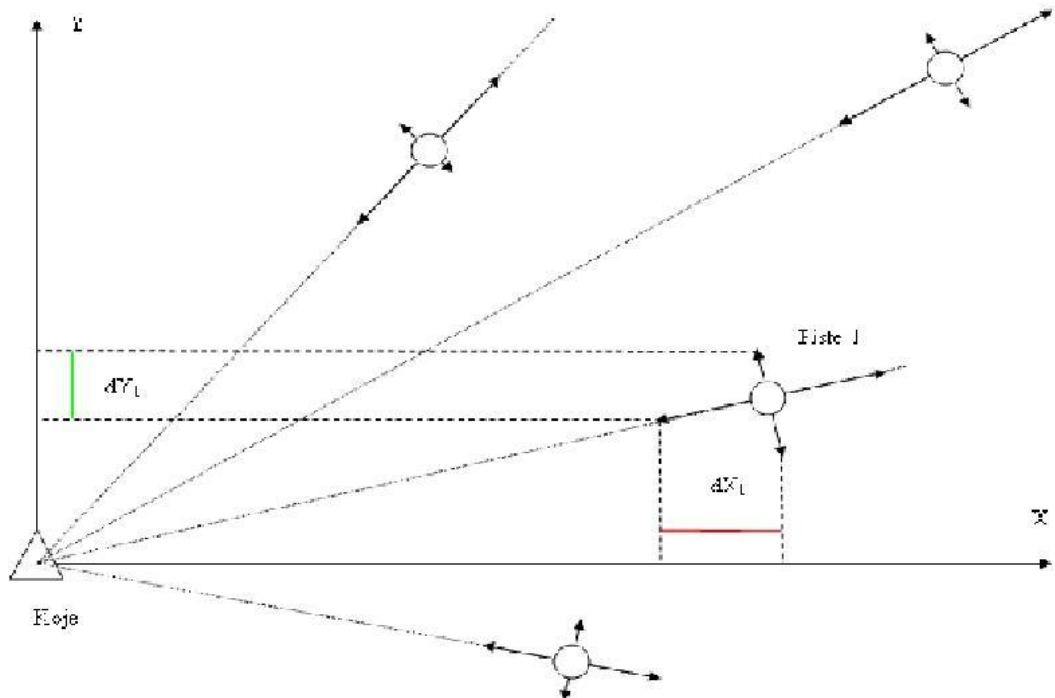
R_3 on koordinaattiakselin kiertomatriisi

X_1 on muunnettava koordinaattiarvo

dX on X akselin origon siirto

Kuva 14. 7-parametrinen Helmert-muunnoksen laskentayhtälö [8].

Pistepilviin mallinnettiin kaikki pallotähykset ja mustavalkotähykset sekä lasketettiin cloud to cloud -menetelmällä pistepilvet keskenään. Georeferoinnin laskennasta poistettiin kaikki muut menetelmät kuin tarkasteltavan menetelmän sidonnaisuudet.



Kuva 15. Poikkeamien muodostuminen tähyksille [4].

Georeferointien keskinäistä eroavaisuutta tarkasteltiin takymetrimittauksilla saatujen mustavalkotähyksien koordinaatteihin. Georeferointien erot vaihtelivat käytettyjen menetelmien mukaan. Eron numeerinen arvo saadaan XYZ-koordinaattieroina (Kuva 16.). Tähykset saavat oman XYZ-koordinaattieron kussakin pistepilvessä. [9; 10; 11.]

$$dP = \sqrt{dX_k^2 + dY_k^2 + dZ_k^2}$$

dP = on koordinaattiero

$\sqrt{dX_k^2}$ on X arvon poikkeamavektori

Kuva 16. Poikkeamien XYZ-koordinaattieron laskentayhtälö [4].

Kaikille pistepilvälle laskettiin mustavalkotähysten keskiarvojen keskihajonnat. Tämä luku kuvaa keskiarvona saadun tuloksen tarkkuutta. (Kuva 17.)

$$s_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$x_i - \bar{x}$ on keskiarvon ja havainnon erotus

n on havaintojen(tähysten) määrä

Kuva 17. Keskiarvon keskihajonnan laskentayhtälö [9].

Graafinen tarkastelu suoritetaan georeferoidulla aineistolla. Georeferoidusta pistepilvistä luodaan uusi ModelSpace. Tässä ModelSpacessa on kaikki georeferoidut pistepilvet. Yhdistetystä aineistosta tarkastellaan pistepilvien yhteensopivuutta. Virheelliset yhteensopivuudet näkyvät yleensä selkeästi erityisesti pyöreiden pilarien ja suorien seinälinjojen poikkeamina. Seinälinjat eivät virhetapauksissa ole samansuuntaisia, ja pilareilla ei ole samaa keskipistettä. [6]

5 Georeferointimenetelmät

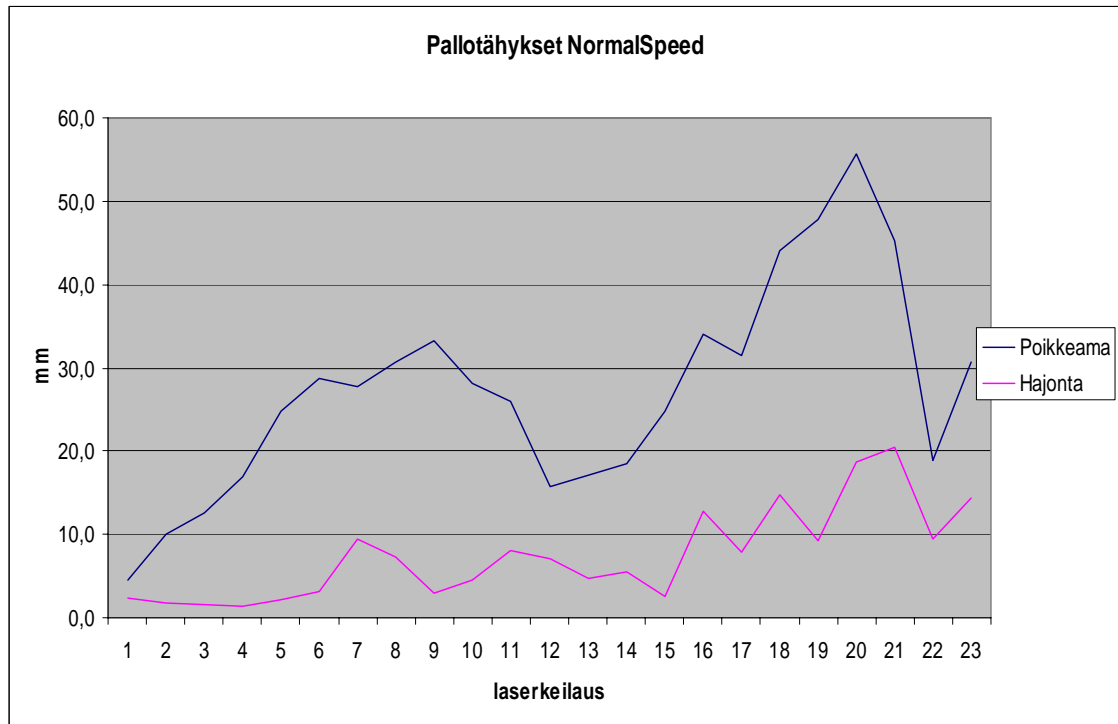
Georeferointien tarkastelussa käytettiin kertaluontoista laskentaa. Samanlaiset laskennat suoritettiin molemmilla mittausnopeuksilla erillisiin georeferointeihin. Menetelmät lasketettiin kerran ja kirjattiin tulokset taulukkolaskentaohjelmaan. Kaikissa menetelmissä ensimmäinen pistepilvi sai yhteiset kiintopisteet takymetrimittausten kanssa. Viimeinen laserkeilaus georeferoinnissa liitettiin yhteisiin kiintopisteisiin vain ensimmäisen pistepilven kiintopisteiden kanssa. [4; 5.]

Yleensä laskentaa parannetaan poistamalla huonon laskenta-arvon saaneita tähyksiä tai mallintamalla yhteisiä kohteita, jotta laskenta helpottuisi ja saataisiin parempi yhteensopivuus. Näitä ei kuitenkaan käytetty näissä georeferointimenetelmissä. On myös mahdollista muokata laskentaa antamalla eri tähyksille erilaiset painoarvot. Painoarvojen muuttamista ei yleensä suositella, koska se saattaa painottaa suoraan virheellisiä arvoja. Painoarvoa voisi korottaa mustavalkotähyksille, jotka on mitattu myös takymetrillä. [4; 5.]

Georeferointi lasketettiin kymmenellä eri tavalla. Tavoilla pyrittiin tarkastelemaan pientenkin muutosten vaikutus laskennallisiin arvoihin. Laskennallisten arvojen lisäksi suoritettiin pistepilvien yhteensopivuuden graafinen tarkastelu. [4; 5.]

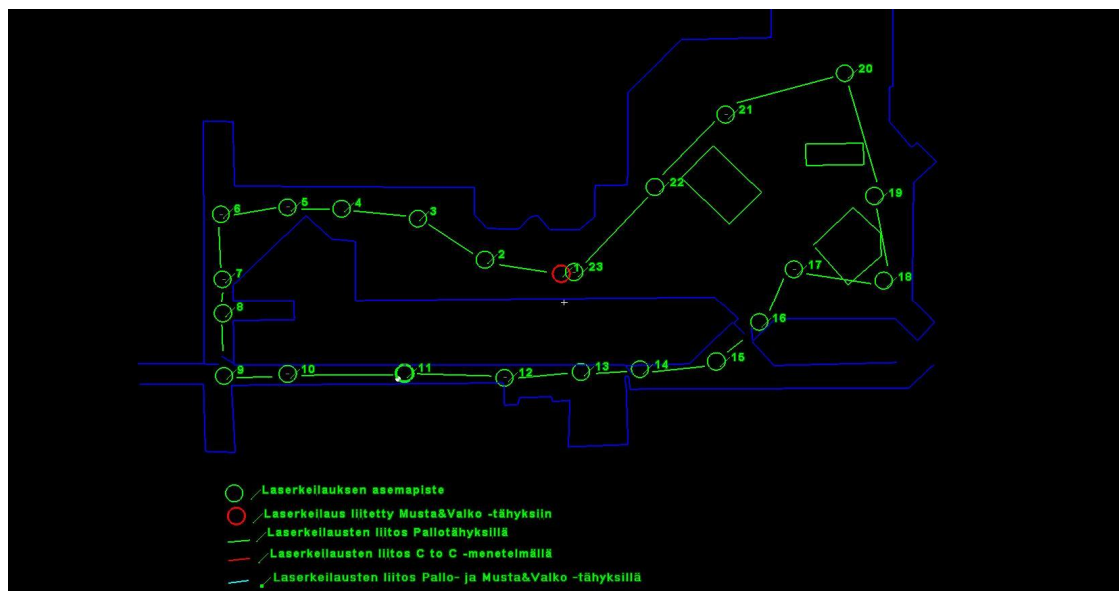
5.1 Pallotähykset

Ensimmäisessä georeferoinnissa lasketettiin pistepilvet yhteen pallotähyksillä. Ensimmäinen pistepilvi liitettiin mustavalkotähyksiin, jotta aineisto tulisi vertailukoordinaatioon. Pallot mallinnettiin siten, etteivät reunavirheet vaikuttaisi lopputulokseen. Pistepilvissä oli kaikkiaan 50 eri pallotähystä. Mallinnuksen tarkkuuteen vaikuttivat pistepilven tarkkuus ja erityisesti muotovirheet. [6] (Kuva 18.)

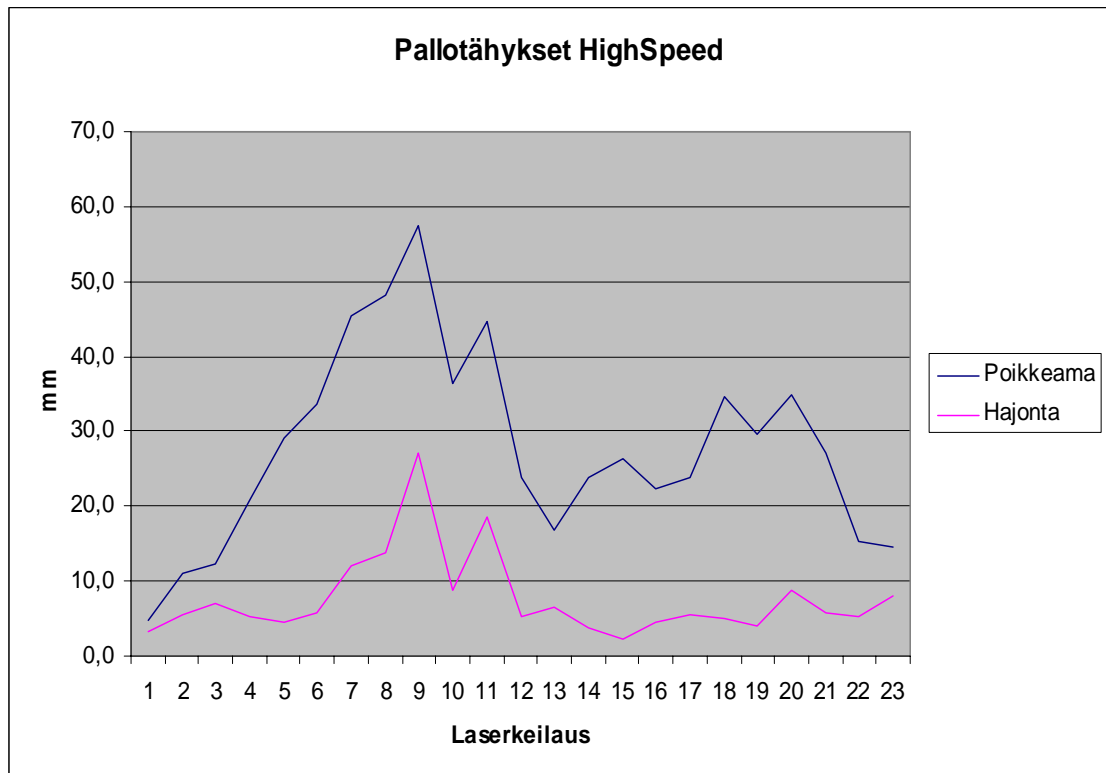


Kuva 18. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa [9; 10; 11.].

Mittausnopeuksien poikkeamien keskiarvo oli kummallakin mittausnopeudella samankaltainen, mutta poikkeamien kasaantuminen poikkesi toisistaan. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed 27,3 mm ja HighSpeed 27,7 mm. [9; 10; 11.] (Taulukko 1.)



Kuva 19. Georeferoinnin eteneminen pallotähyksillä mittaradan laserkeilausasemaisissa.

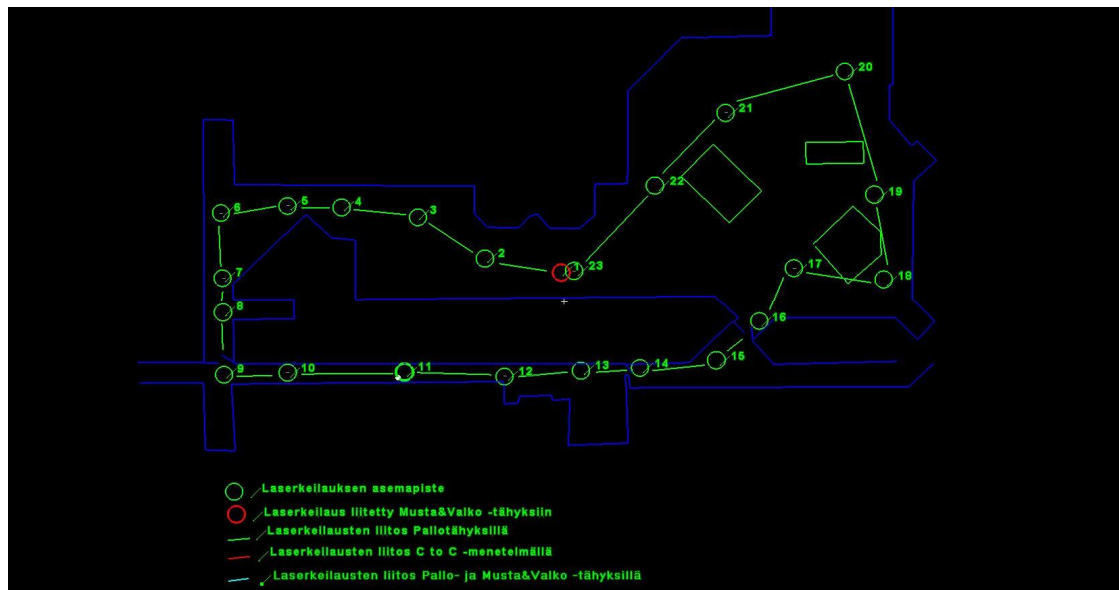


Kuva 20. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed 7,5 mm ja HighSpeed 7,6 mm. Pelkillä pallotähyksillä tehty georeferointi poikkesi melkoisesti takymetrimittauksista. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo olivat pistepilvessä 14129 NormalSpeed-mittauksella 55,7 mm (kuva 19) ja HighSpeed-mittauksella pistepilvessä 14104 57,5 mm (kuva 20). Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 30,7 mm ja HighSpeed 14,5 mm. [9; 12; 13]

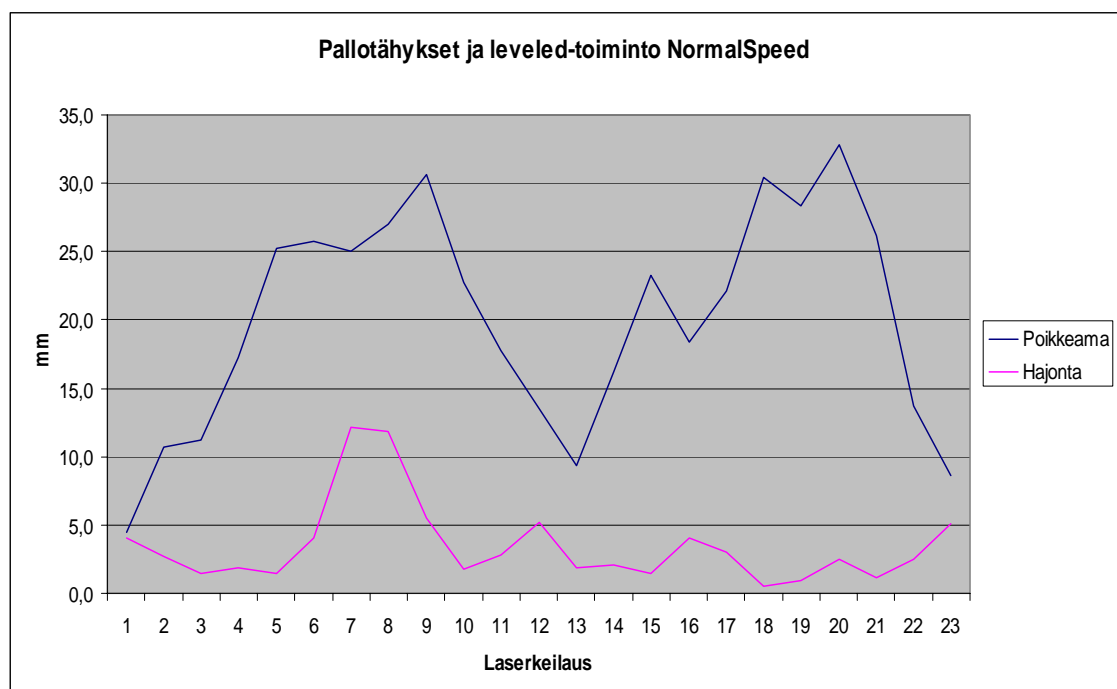
5.2 Pallotähykset ja leveled-toiminto

Pallotähyksen georeferointia pyrittiin parantamaan asettamalla pistepilvet leveled-toiminnolla. Tämä tarkoittaa, että pistepilvet georeferoidaan pallojen avulla mutta luki-taan pystyakseli laskennasta. Pystyakselin lukituksessa käytetään laserkeilaimen kom-pensaattoria hyväksi. Oletuksena pystyakselin suunta on siis "oikea", koska laserkeilain on tasattu ja sen arvoja on kompensaattori korjannut [4] (Kuva 21).

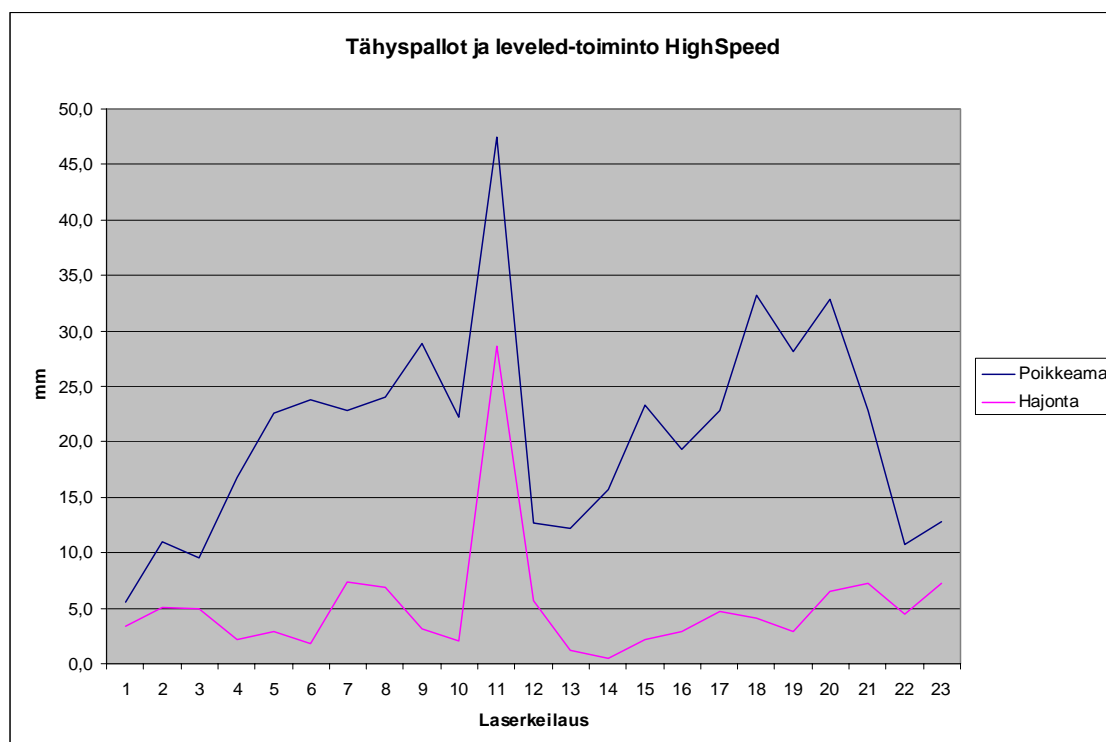


Kuva 21. Georeferoinnin eteneminen pallotähyksillä lisättynä leveled-toiminto mittaradan laserkeilausasemapisteissä.

Mittausnopeuksien poikkeamien keskiarvo oli kummallakin mittausnopeudella samakaltainen mutta poikkeamien kasaantuminen erosi toisistaan. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed 20,0 mm (kuva 22) ja HighSpeed 20,9 mm (kuva 23). [9; 10; 11.]



Kuva 22. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

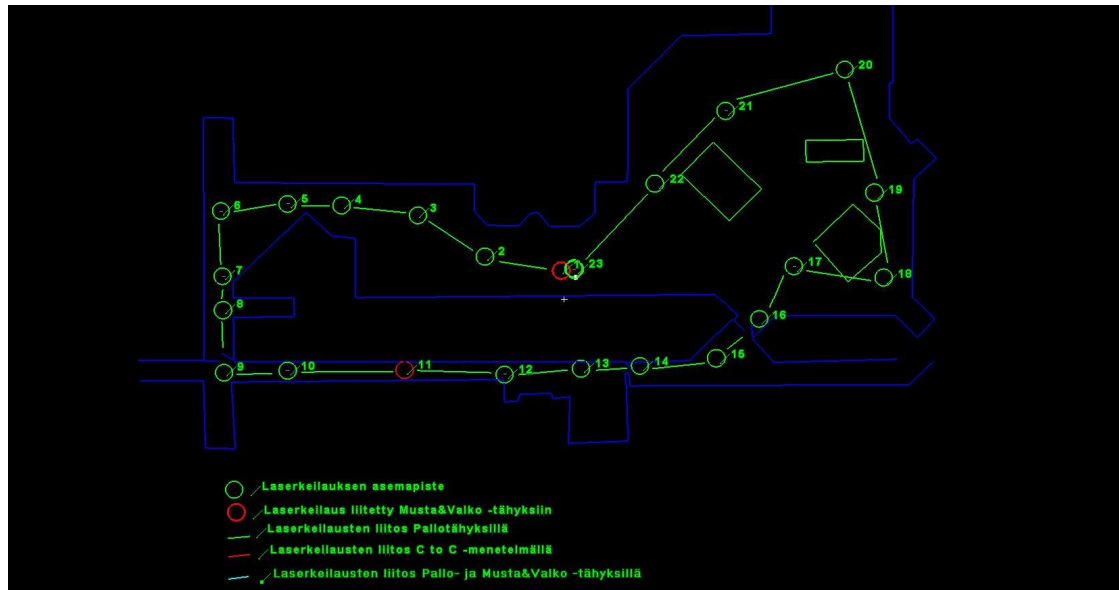


Kuva 23. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed 3,5 mm ja HighSpeed 5,1 mm. Pallo-
tähyksillä ja leveled-toiminnolla tehty georeferointi poikkesi edelleen melkoisesti taky-
metrimittauksista, vaikka pystyakseli lukittiin pistepilvissä. Suurimmillaan poikkeamien
keskiarvo olivat pistepilvessä 14129 NormalSpeed-mittauksella 33,8 mm ja HighSpeed-
mittauksella pistepilvessä 14108 47,5 mm. Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä kei-
lauksella oli NormalSpeed-mittauksella 8,7 mm ja HighSpeed-mittauksella 12,8 mm.
[9; 12; 13.]

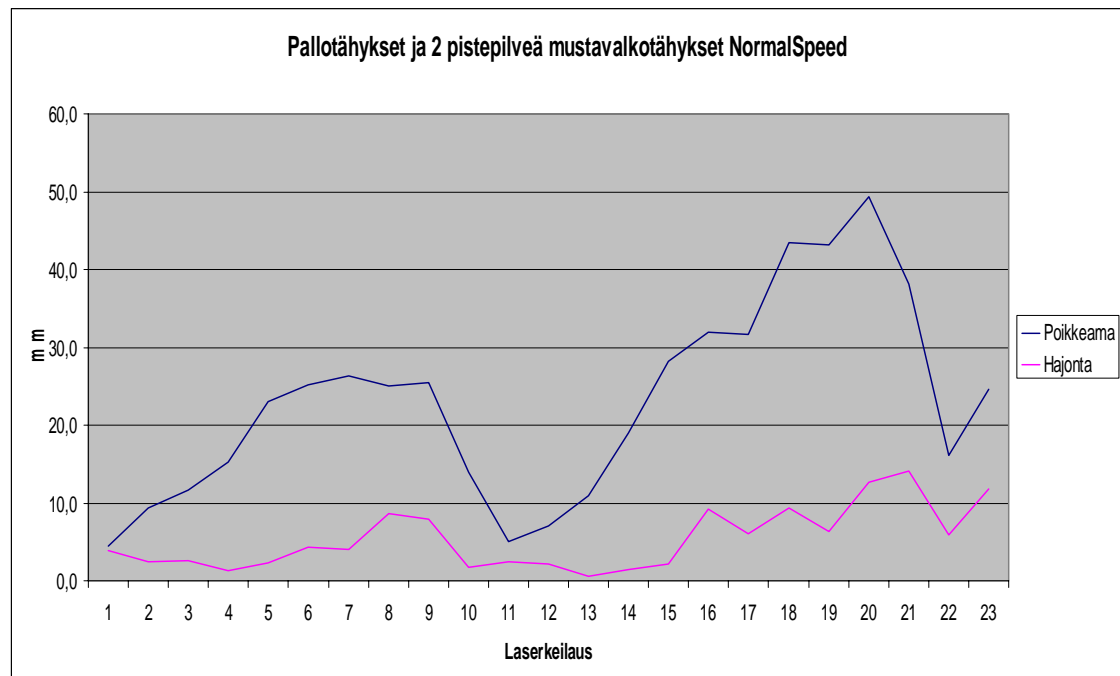
5.3 Pallotähykset ja 2 pistepilveä mustavalkotähyksillä

Pallotähyksen lisäksi liitettiin rekisteröinnin puolivälin pistepilvi mustavalkotähyksiin.
Tarkoituksena oli selvittää kahden pistepilven vaikutus kokonaispoikkeamaan. Pistepilvil-
tä poistettiin leveled-toiminto. (Kuva 24.)



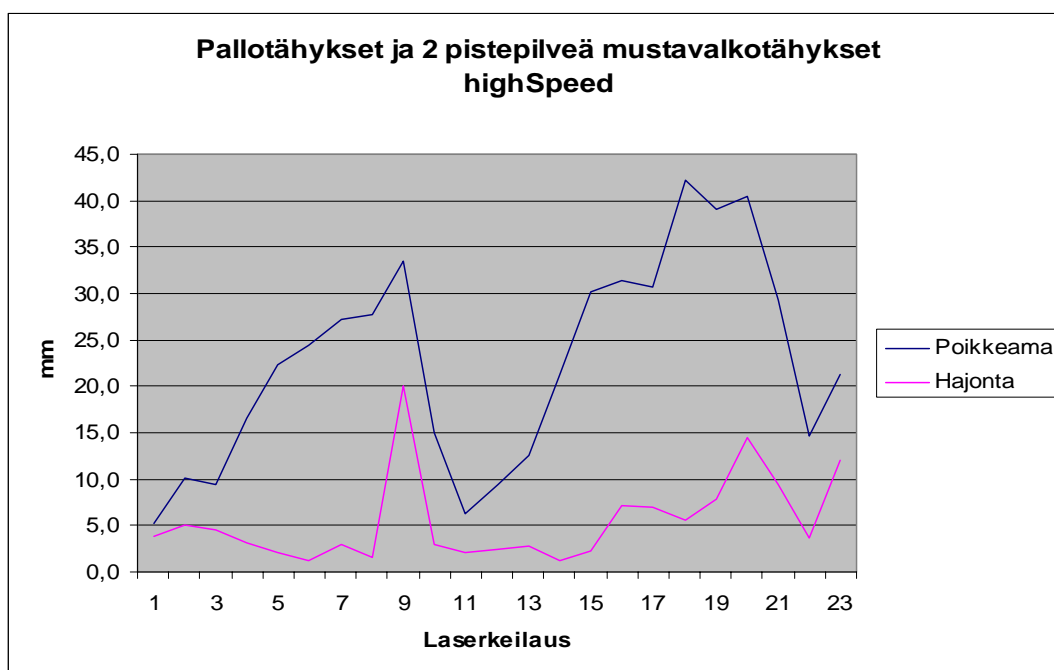
Kuva 24. Georeferoinnin eteneminen pallotähtyksillä ja 2 pistepilveä liitettynä musta-valkotähtyksiin mittaradan laserkeilausasemapisteeissä.

Mittausnopeuksian poikkeamien keskiarvo oli näissäkin lähes samanlainen. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed 23,0 mm ja HighSpeed 22,6 mm. [9; 10; 11.] (Taulukko 1.)



Kuva 25. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

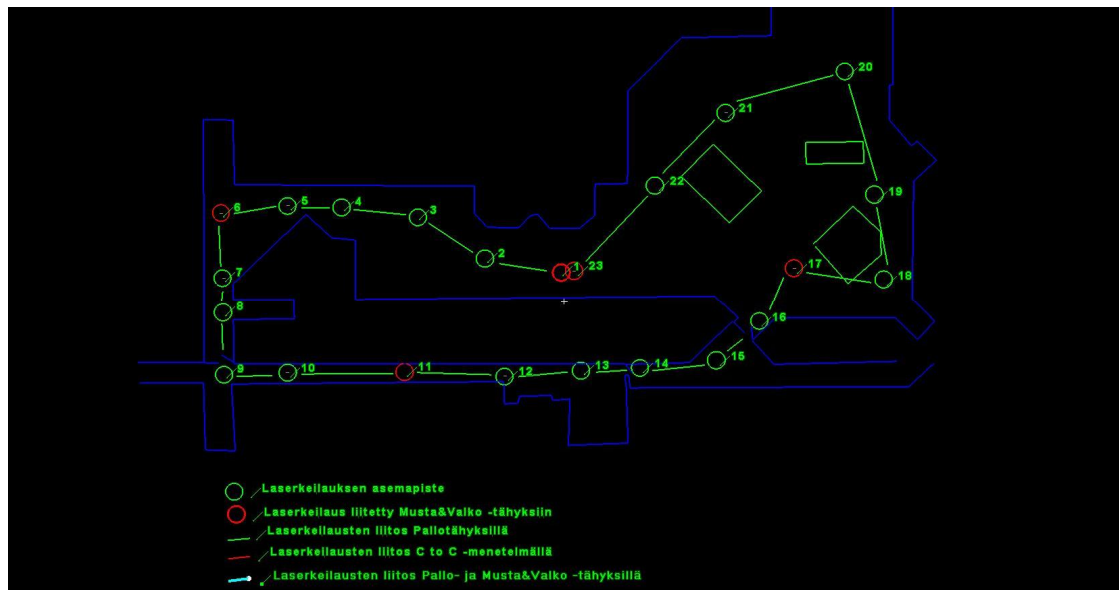
Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed 5,4 mm ja HighSpeed 5,1 mm. Pallotähyksillä ja kahdella takymetrimittauksiin kiinnitetyllä laserkeilauksella poikkesi georeferointi edelleen melkoisesti takymetrimittauksista. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo olivat pistepilvessä 14129 NormalSpeed-mittauksella 49,3 mm (kuva 25) ja HighSpeed-mittauksella pistepilvessä 14134 42,2 mm (kuva 26). Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 24,7 mm ja HighSpeed-mittauksella 21,3 mm. [9; 10; 11.]



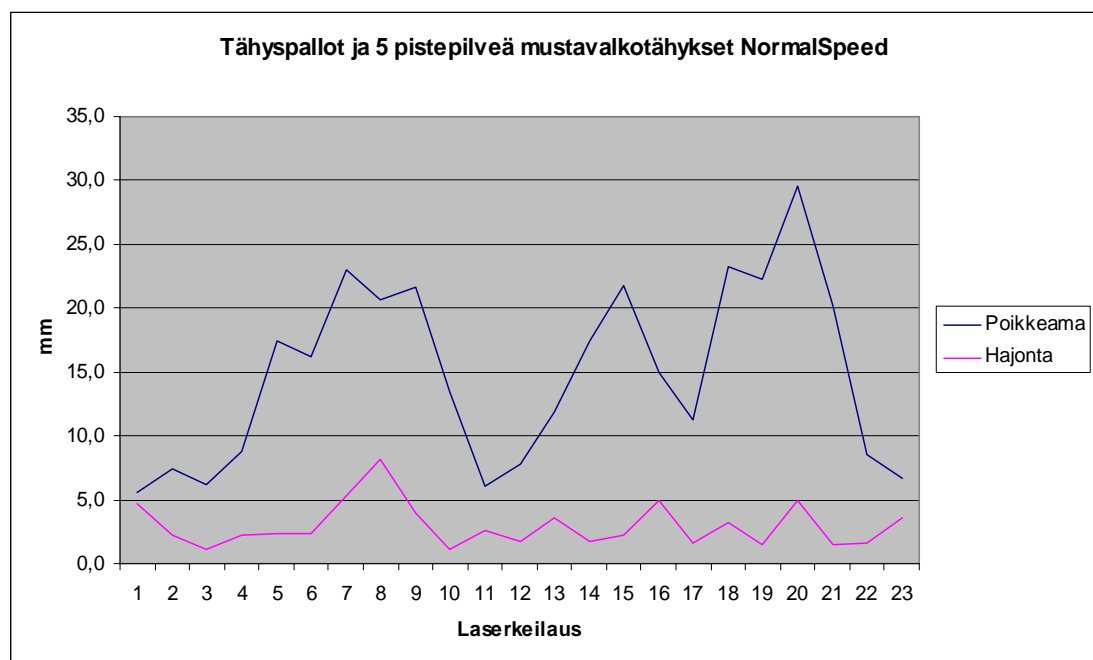
Kuva 26. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

5.4 Pallotähykset ja 5 pistepilveä mustavalkotähyksillä

Edellistä georeferointia parannettiin siten, että ensimmäisen ja viimeisen keilauksen lisäksi noin 5. keilauksen välein keilaukset liitettiin takymetrimittauksiin. Tämän lisäksi pistepilvet liitettiin toisiinsa pallotähyksillä. (Kuva 27.)

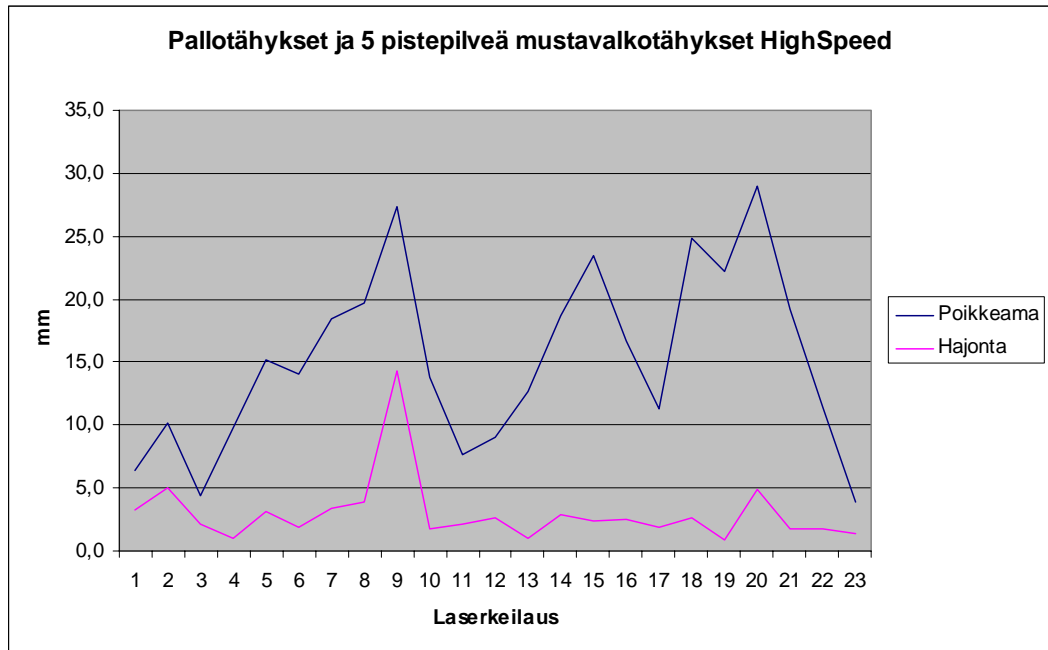


Kuva 27. Georeferoinnin eteneminen pallotähyksillä ja 5 pistepilveä liitettynä musta-valkotähyksiin mittaradan laserkeilausasemapiisteissä.



Kuva 28. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

Mittausnopeuksien poikkeamien keskiarvo ei poikennut toisistaan juurikaan. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed 14,9 mm ja HighSpeed 15,2 mm. Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed 3,0 mm ja HighSpeed 3,0 mm. [9; 10; 11.] (Taulukko 1.)

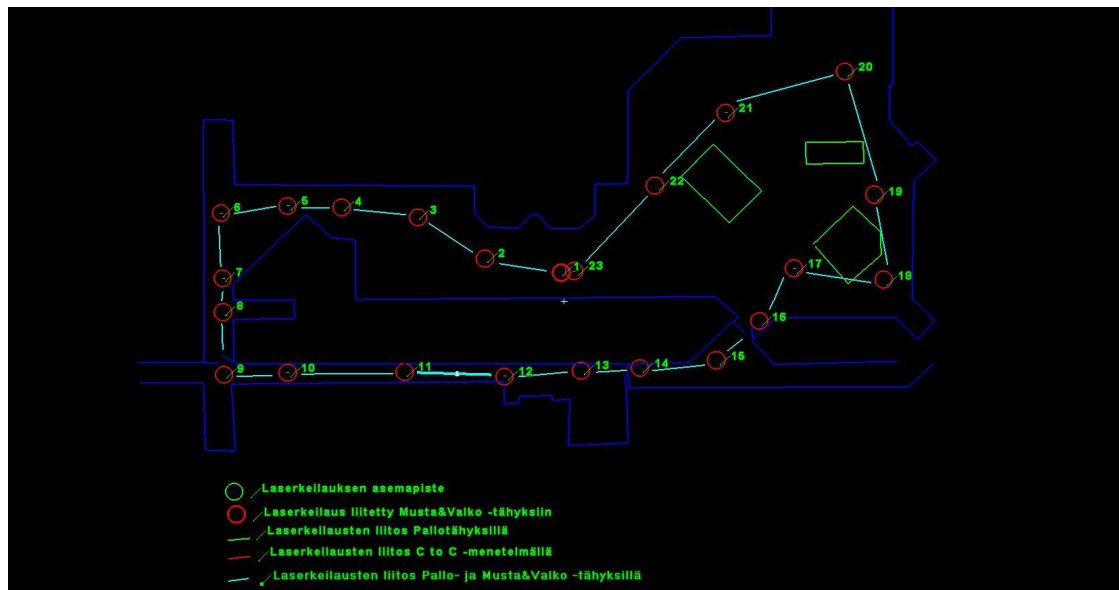


Kuva 29. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

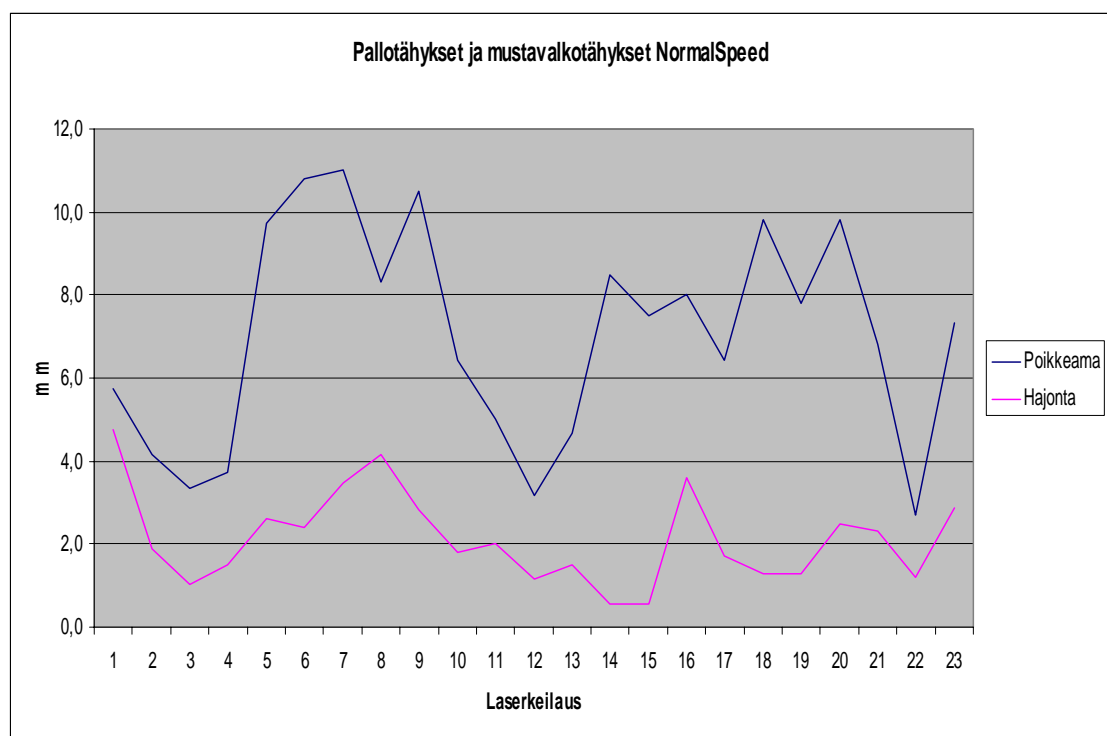
Pallotähyksillä ja viidellä takymetrimittauksiin kiinnitetyllä laserkeilauksella parannettiin huomattavasti poikkeamien arvoja. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo olivat pistepilvessä 14129 NormalSpeed-mittauksella 29,5 mm (kuva 28) ja HighSpeed-mittauksella pistepilvessä 14128 29,0 mm (kuva 29). Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 6,7 mm ja HighSpeed-mittauksella 3,8 mm. [9; 10; 12; 14.]

5.5 Pallotähykset ja mustavalkotähykset

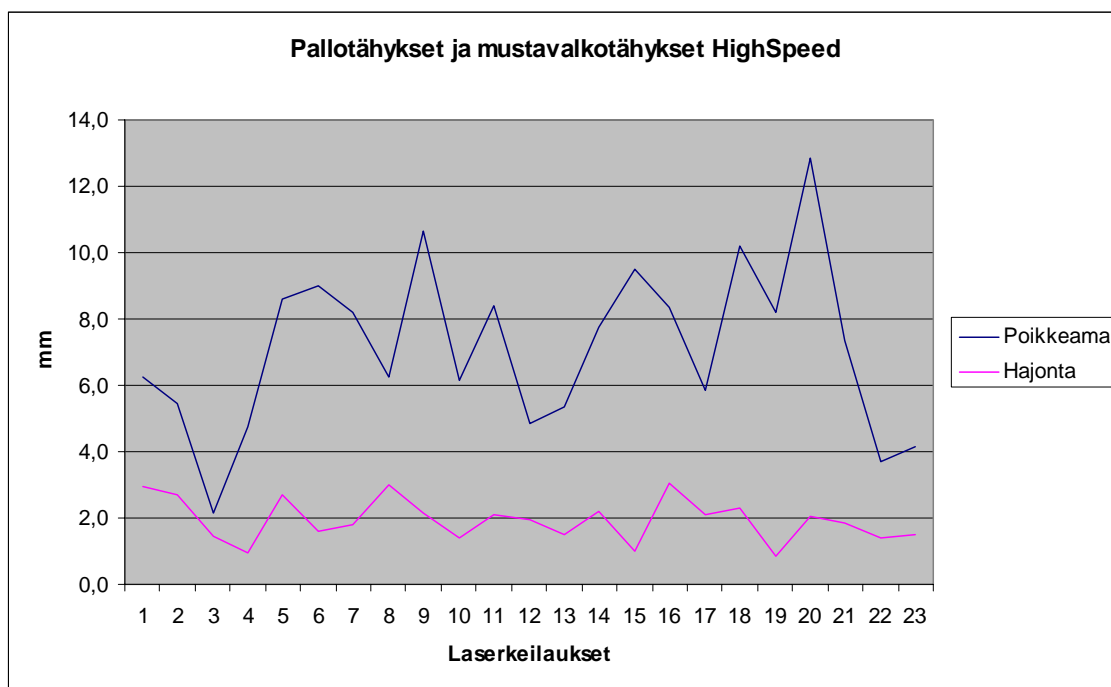
Georeferointiin otettiin mukaan kaikki 50 mustavalkotähykset ja kaikki 50 pallotähystä. Mittausnopeuksien poikkeamien keskiarvo noudatteli aikaisempien tavoin samanlaista eroa. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed-mittauksella 7,0 mm ja HighSpeed-mittauksella 7,1 mm. Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed-mittauksella 2,1 mm ja HighSpeed-mittauksella 1,9 mm. [9; 10; 11.] (Kuva 30.)



Kuva 30. Georeferoinnin eteneminen pallotähyksillä ja kaikki pistepilvet liitettynä mustavalkotähyksiin mittaradan laserkeilausasemapisteissä.



Kuva 31. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.



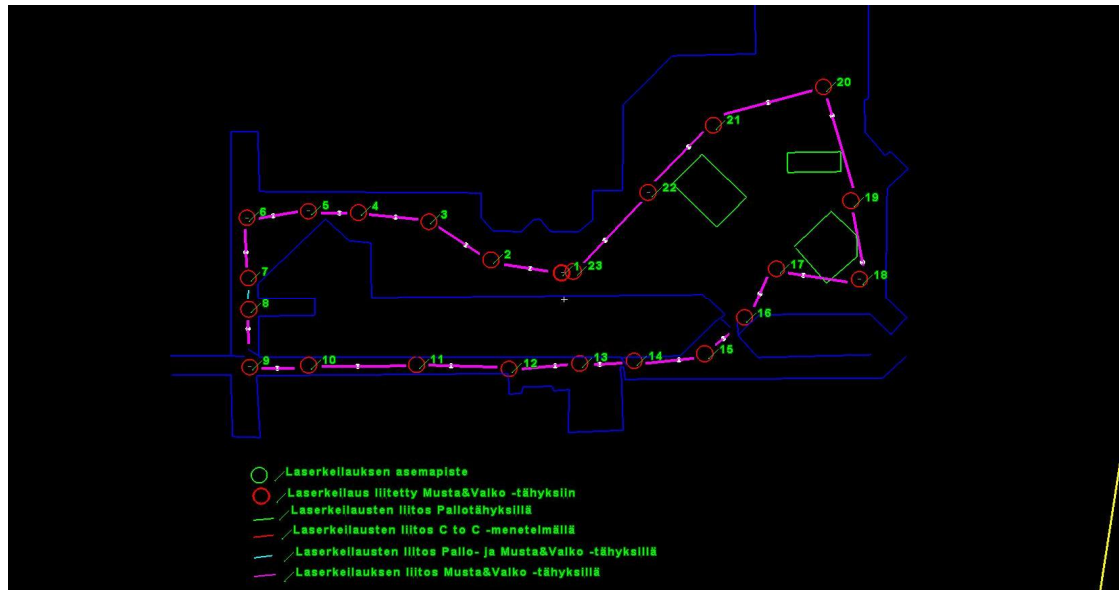
Kuva 32. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

Kaikilla pallo- ja mustavalkotähyksillä suoritettu georeferointi puolitti poikkeamat edelliseen verrattuna. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo olivat pistepilvessä 14101 NormalSpeed-mittauksella 11,0 mm ja HighSpeed-mittauksella pistepilvessä 14128 12,8 mm. Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 7,3 mm (kuva 31) ja HighSpeed-mittauksella 4,2 mm (kuva 32). [9; 12; 14.]

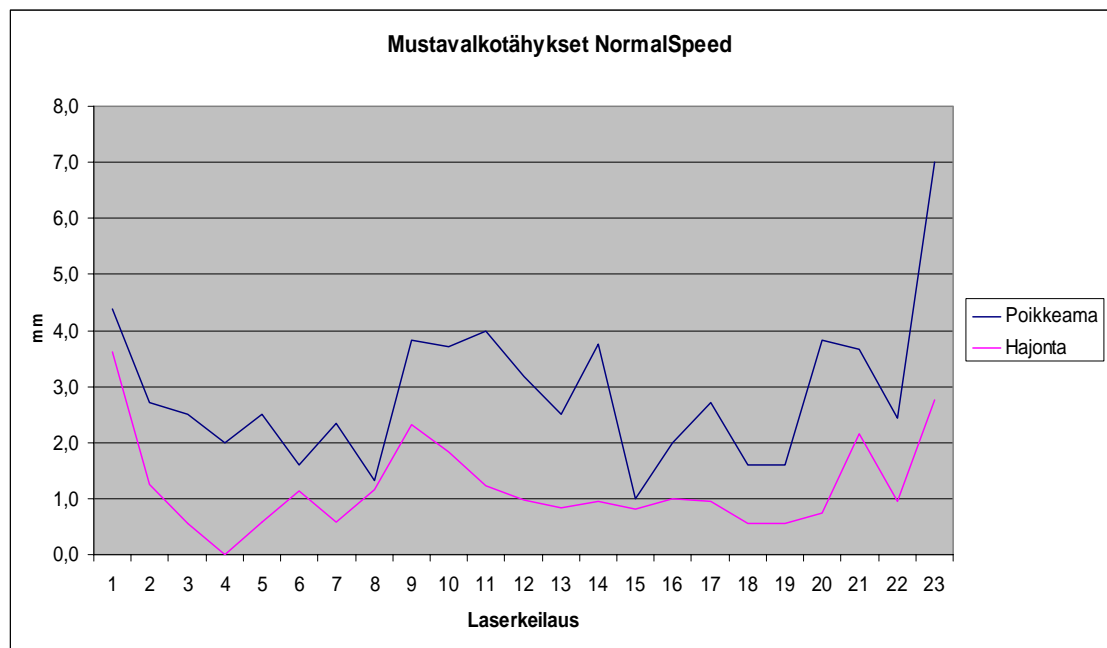
5.6 Mustavalkotähykset

Georeferoinnista poistettiin pallotähykset, jotta nähtiin niiden yhteisvaikutus poikkeamaan mustavalkotähysten kanssa. Pallotähysten mallinnustarkkuus ja muoto-poikkeamat heikensivät georeferointia. (Kuva 33.)

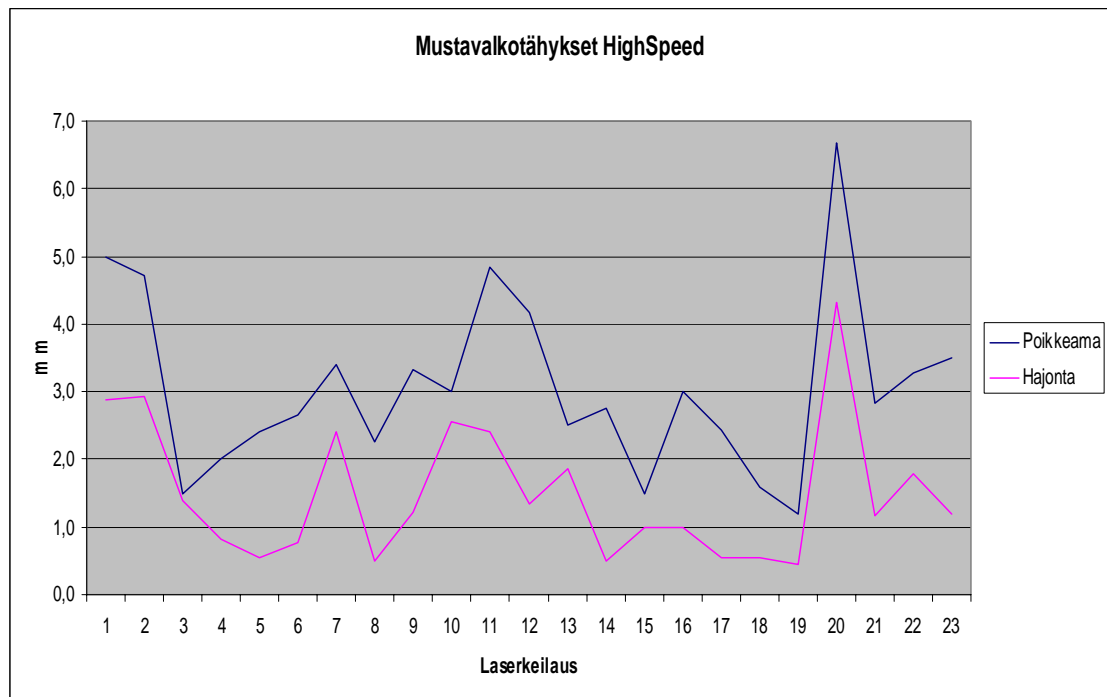
Mittausnopeuksien poikkeamien keskiarvo paranivat erittäin hyväksi. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed-mittauksella 2,9 mm ja HighSpeed-mittauksella 3,1 mm. Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed-mittauksella 1,2 mm ja HighSpeed-mittauksella 1,5 mm. [9; 10; 11] (Taulukko 1.)



Kuva 33. Georeferoinnin eteneminen, kun kaikki pistepilvet ovat liitettyinä mustavalko-tähyksiin mittaradan laserkeilausasemapisteissä.



Kuva 34. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

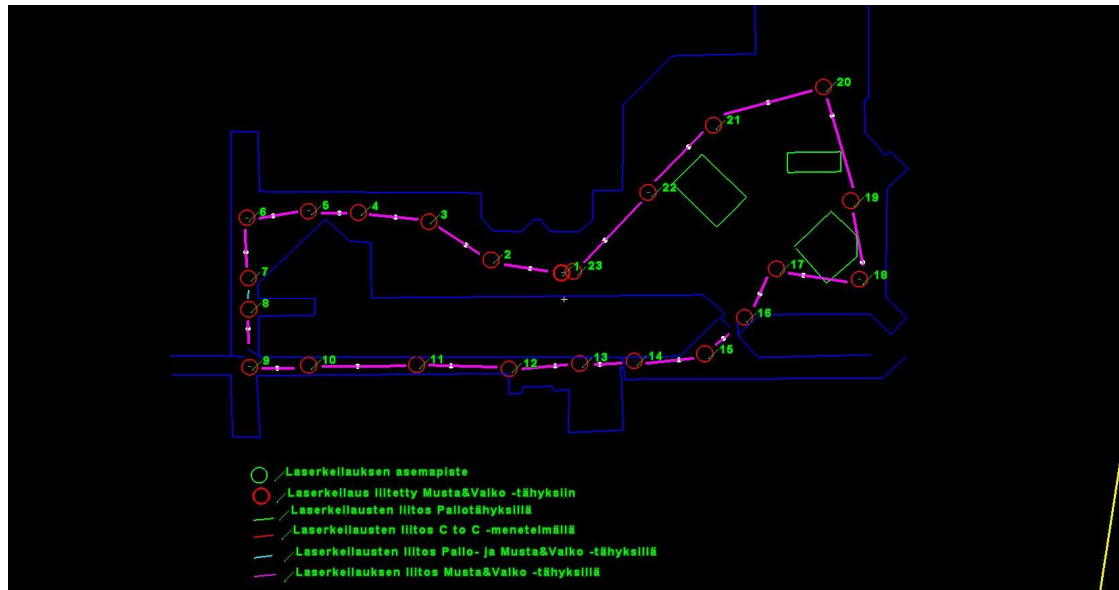


Kuva 35. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

Pelkillä mustavalkotähyksillä georeferoinin poikkeama jäi pieneksi. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo olivat pistepilvessä 14135 NormalSpeed-mittauksella 7,0 mm (kuva 34) ja HighSpeed-mittauksella pistepilvessä 14128 6,7 mm (kuva 35). Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 7,0 mm ja HighSpeed-mittauksella 3,5 mm. [9; 10; 11.]

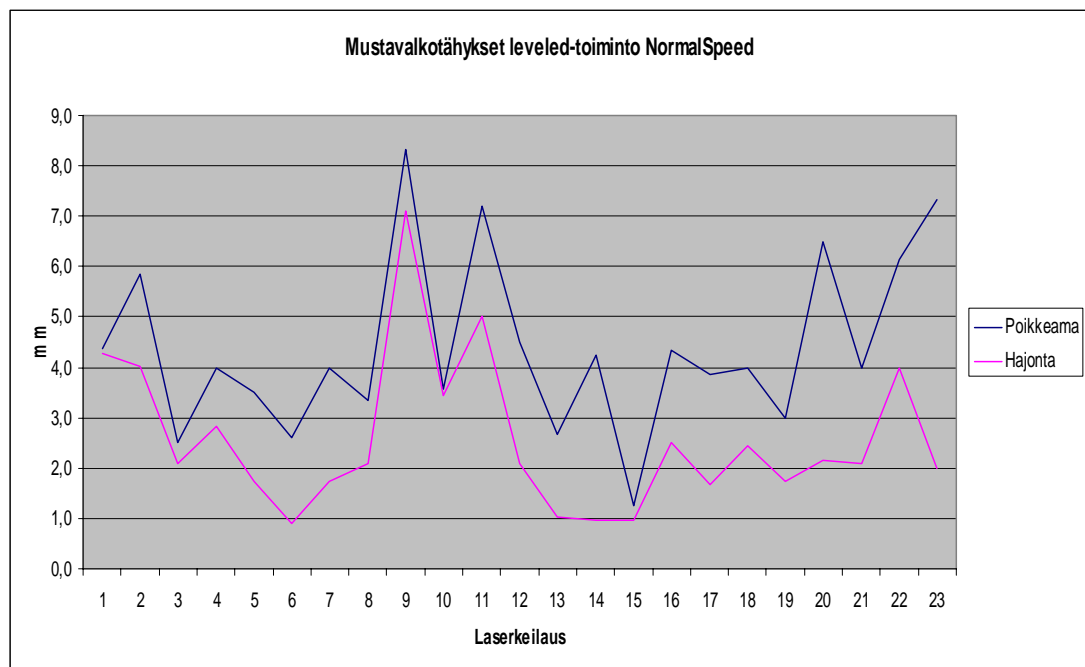
5.7 Mustavalkotähykset ja leveled-toiminto

Seuraavaksi kokeiltiin leveled-toiminnon sopivuutta mustavalkotähyksillä tehtyyn georeferointiin. Oletuksena oli, että se parantaisi edelleen poikkeamia. Tätä ei kuitenkaan tapahtunut, vaan se heikensi hieman georeferoinnin poikkeamia. (Kuva 36.)

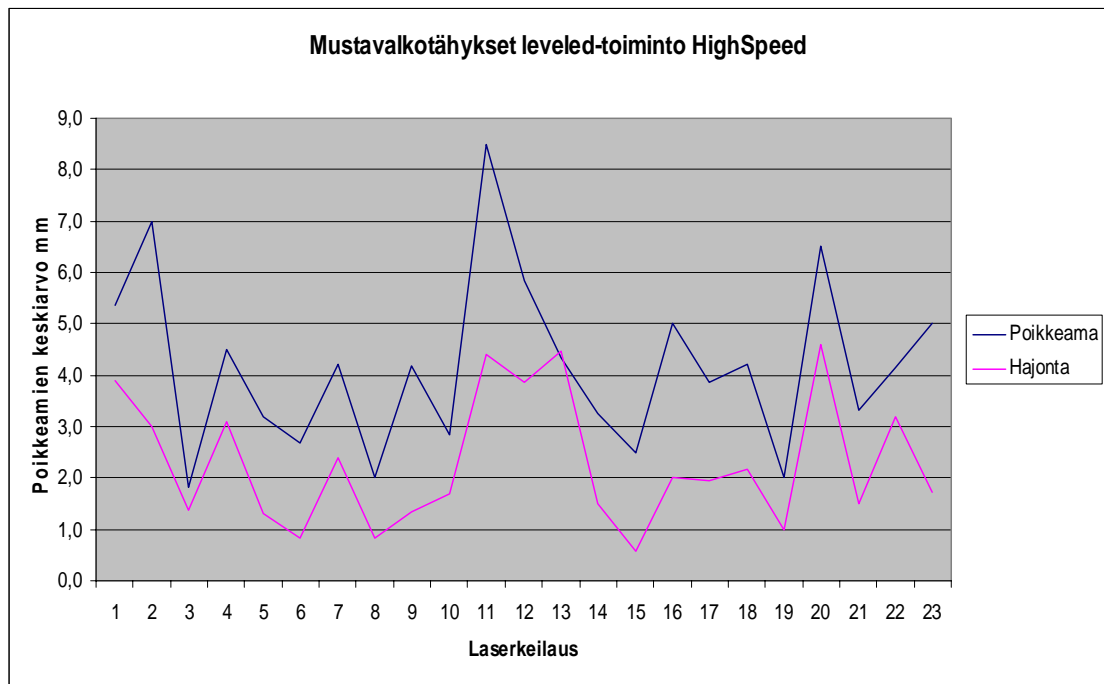


Kuva 36. Georeferoinnin eteneminen, kun kaikki pistepilvet ovat liitettyinä mustavalko-tähyksiin ja leveled-toiminto mittaradan laserkeilausasemapisteissä.

Mittausnopeuksien poikkeamien keskiarvo säilyi pienenä. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed-mittauksella 4,4 mm ja HighSpeed-mittauksella 4,2 mm. Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed-mittauksella 2,6 mm ja HighSpeed-mittauksella 2,3 mm. [9; 10; 11.] (Taulukko 1.)



Kuva 37. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

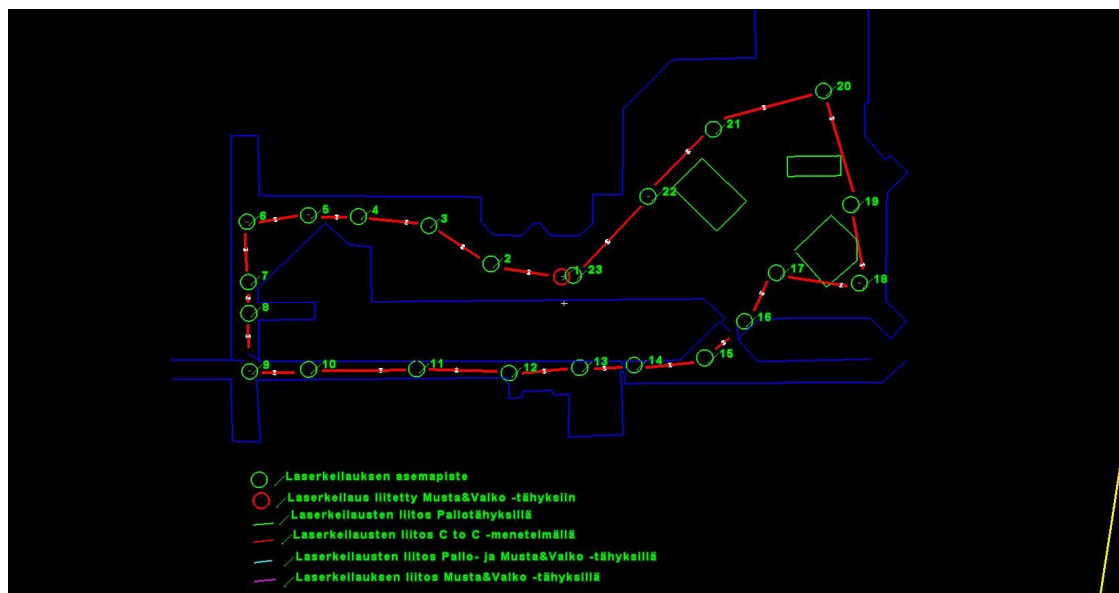


Kuva 38. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

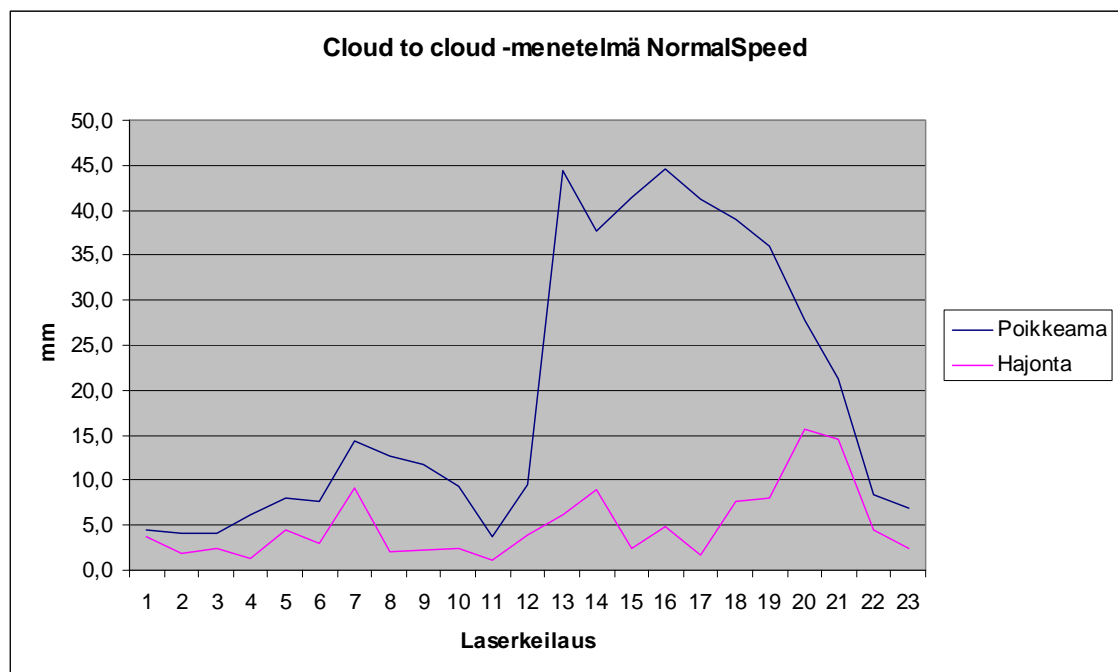
Mustavalkotähyksillä ja leveled-toiminnolla georeferointierot heikentyivät pelkillä mustavalkotähyksillä tehtyyn georeferointiin. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo olivat pistepilvessä 14105 NormalSpeed-mittauksella 8,3 mm (kuva 37) ja HighSpeed-mittauksella pistepilvessä 14108 8,5 mm (kuva 38). Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 7,3 mm ja HighSpeed-mittauksella 5,0 mm. [9; 13; 14.]

5.8 Cloud to cloud -menetelmä

Cloud to Cloud -menetelmä perustuu helmert-muunnokseen ja geometriseen kohdesovitukseen. Yhdistettävistä pistepilvistä valitaan pisteitä aktiiviseksi likimain samoista paikoista. Helmert-muunnoksella pistepilvet asetetaan laskennallisesti lähekkäin ja tarkkuutta parannetaan geometrisellä laskennalla. Laskennassa sovitetaan tasomaiset kohteet parhaalla mahdollisella tavalla. Helmert-muunnos tarvitsee vähintään kaksi likimain yhteistä pistettä, kun pistepilvet on yhdistetty leveled-toiminnolla. Muissa tapauksissa tarvitaan vähintään kolme. Parhaaseen mahdolliseen tulokseen pääsee, kun yhteisiä pisteitä on vähintään viisi. (Kuva 39.) Ohjelman oletusasetuksista poiketen käytämme iteraatioiden määränä 500, 100 % pistepilvestä ja osoituspisteet maksimisaan tarkkuudella 40 cm.



Kuva 39. Georeferoinnin eteneminen, kun kaikki pistepilvet ovat liitettyinä cloud to cloud-menetelmällä mittaradan laserkeilausasemapiisteissä.

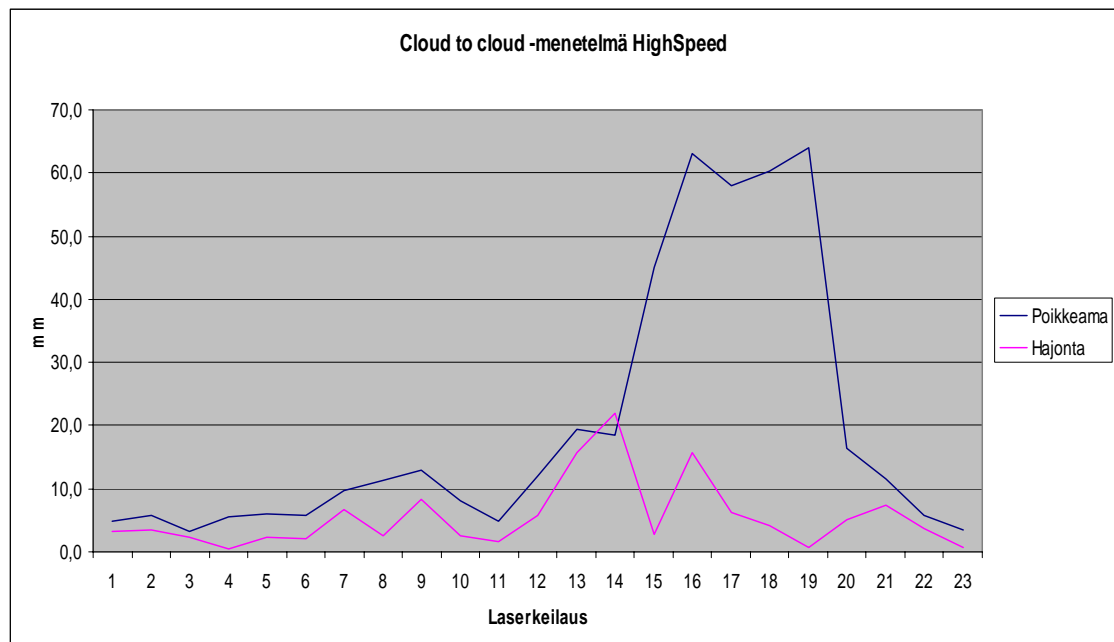


Kuva 40. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

Mittausnopeuksien poikkeamien keskiarvojen erot säilyivät pieninä. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed-mittauksella 19,3 mm ja HighSpeed-mittauksella 19,8 mm. Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed-mittauksella 5,0 mm ja HighSpeed-mittauksella 5,5 mm. [9; 10; 11.] (Taulukko 1.)

Menetelmä vaatii riittävän peiton ja peiton on oltava vähintään 40 % pistepilvistä. Näin varmistetaan laskennan onnistuminen.

Pistepilvistä ensimmäinen, viimeinen ja keskivaiheen pistepilvet kiinnitettiin mustavalkotähyksillä takymetrimittauksiin. Kaikki pistepilvet yhdistettiin jonona toisiinsa cloud to cloud -menetelmällä.



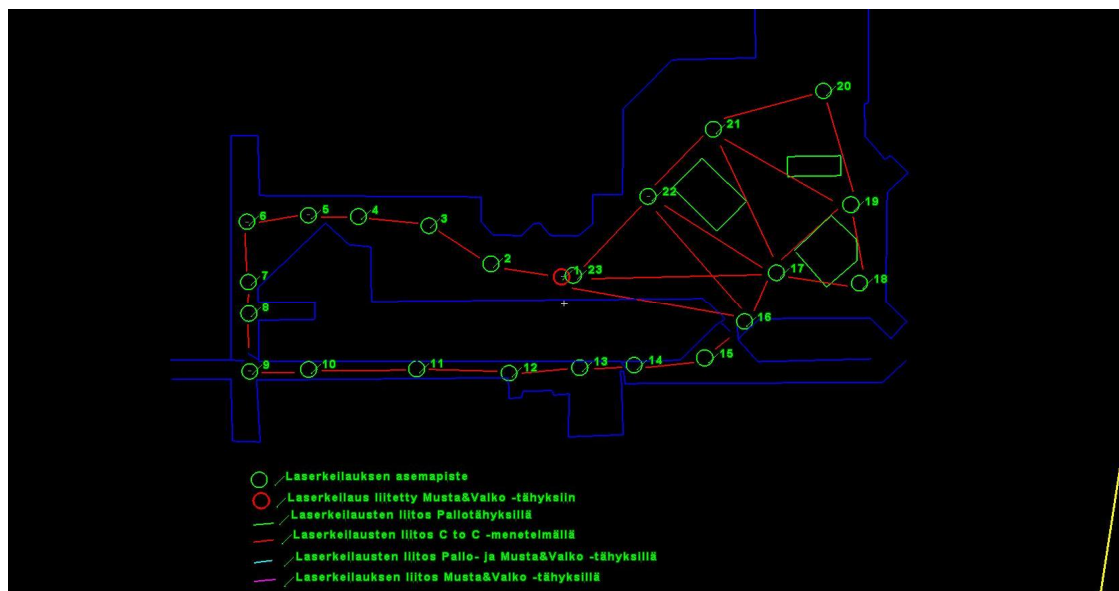
Kuva 41. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

Poikkeamat kasvoivat merkittävästi oletetusta. Oletuksena oli, että kyseisellä menetelmällä päästään lähes mustavalkotähyksillä tehtävälle georeferoinnin poikkeamaan. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo olivat pistepilvessä 14121 NormalSpeed-mittauksella 44,7 mm (kuva 41) ja HighSpeed-mittauksella pistepilvessä 14126 64,0 mm (kuva 42). Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 6,8 mm ja HighSpeed-mittauksella 3,5 mm. [9; 12; 14.]

5.9 Cloud to cloud -menetelmä verkkona

Georeferoinnin laatu huononi merkittävästi cloud to cloud -menetelmällä verrattuna mustavalkotähyksiin georeferointijonon loppuvaiheessa. Jonon loppuvaiheessa palattiin avonaiseen aulatilaa, jossa mittausetäisyydet kasvoivat. Laskennallisesti tämä tarjosi erittäin suuren haasteen cloud to cloud -menetelmälle. Liitoksia lisättiin verkkomaiseksi aulatilassa siten että kaikki mahdolliset pistepilvet linkitettiin toisiinsa cloud to cloud -menetelmällä. (Kuva 42.)

Ensimmäinen, viimeinen ja puolivälin pistepilvet olivat edelleen kiinnitettyinä mustavalkotähyksillä takymetrimittauksiin.

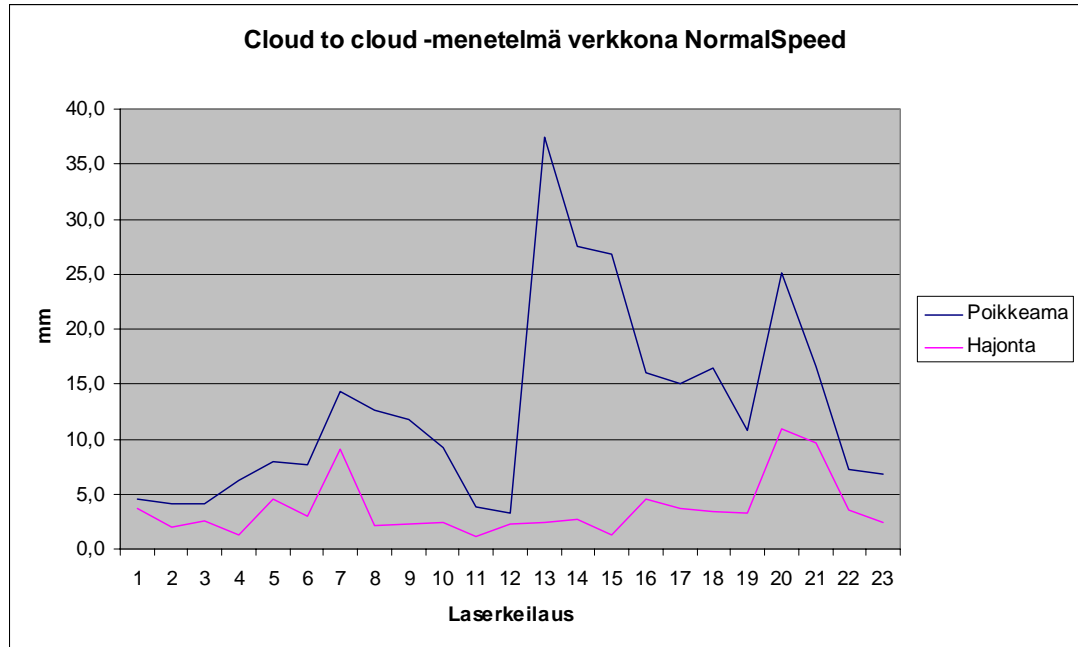


Kuva 42. Georeferoinnin eteneminen, kun kaikki pistepilvet ovat liitettyinä cloud to cloud -menetelmällä verkkona mittaradan laserkeilausasemapiisteissä.

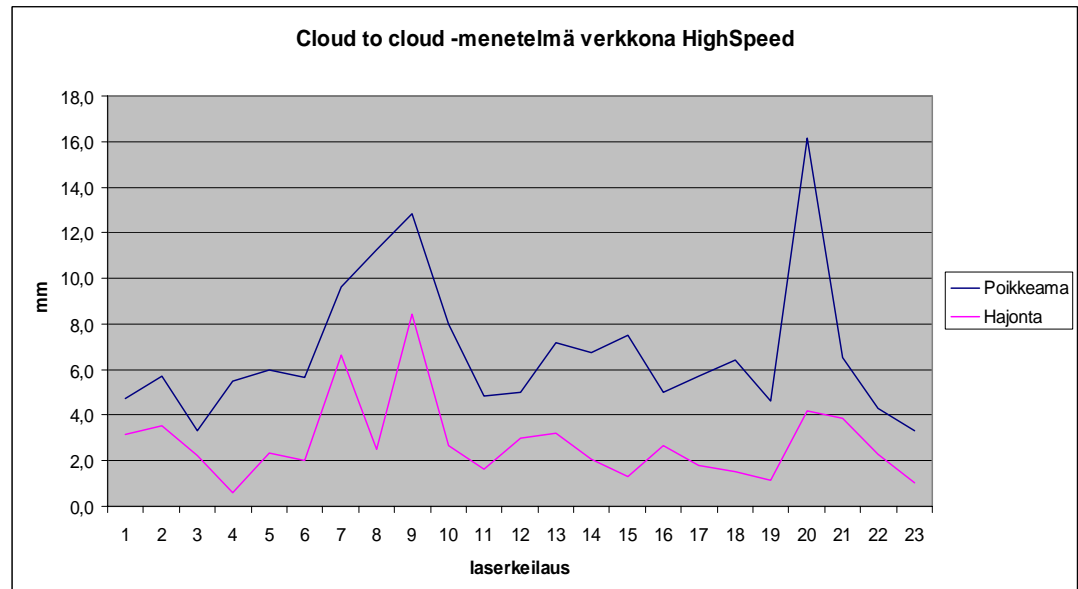
Mittaussnopeuksien poikkeamien keskiarvojen erot poikkesivat toisistaan. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed-mittauksella 12,9 mm ja HighSpeed-mittauksella 6,8 mm. Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed-mittauksella 6,9 mm ja HighSpeed-mittauksella 3,5 mm. [9; 10; 11.]

Poikkeamat pienenevät jonona edeltävään georeferoituun aineistoon verrattuna. Mittaussnopeuksien poikkeavat tulokset oli suuri yllätys. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo oli pistepilvessä 14115 NormalSpeed-mittauksella 37,5 mm (kuva 43) ja HighSpeed-

mittauksella pistepilvessä 14128 16,2 mm (kuva 44). Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 3,7 mm ja HighSpeed-mittauksella 2,8 mm. [9; 12; 14.]



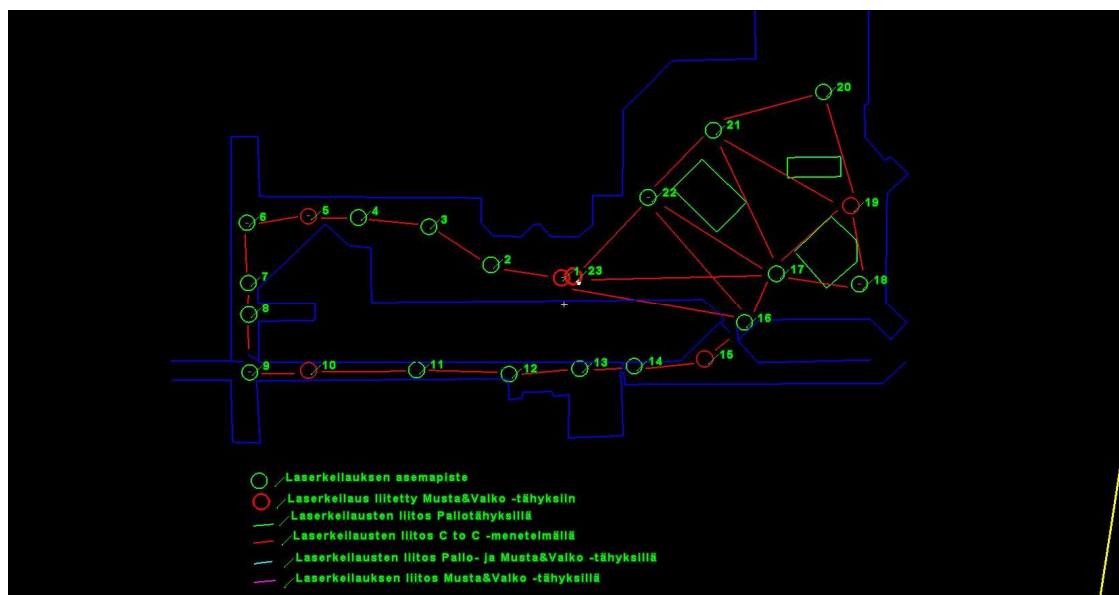
Kuva 43. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.



Kuva 44. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

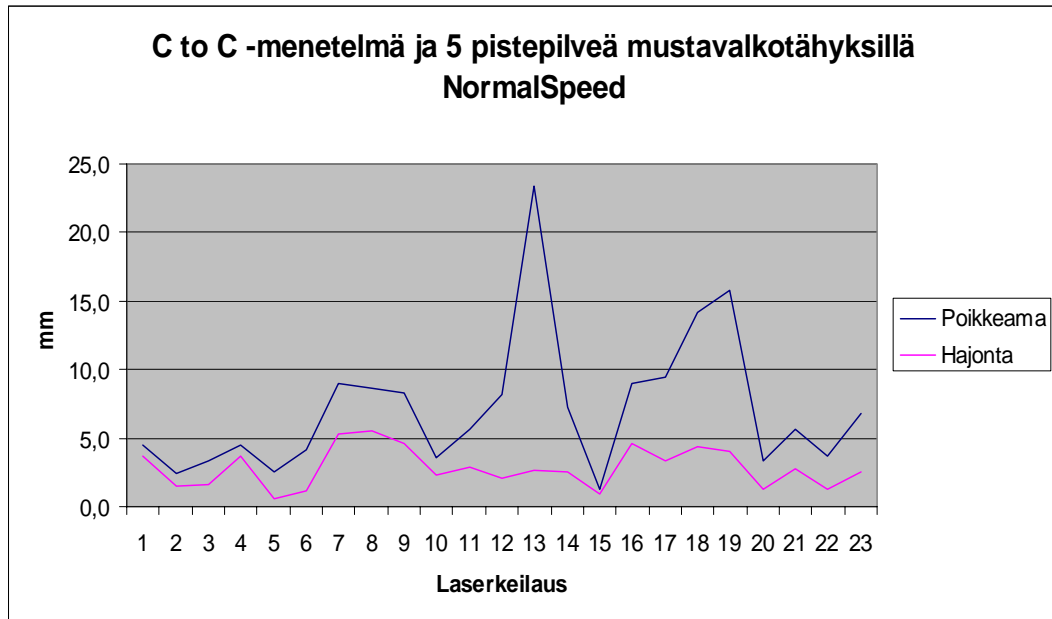
5.10 Cloud to cloud -menetelmä verkkona ja 5 mustavalkotähyksellä

Cloud to cloud -menetelmää ei käytännössä käytetä näin pitkillä jonoilla ja verkkomaisena ilman mustavalkotähyksiä. Tämän vuoksi 23 pistepilvestä 5 pistepilveä liitettiin mustavalkotähyksiin. Kyseinen menetelmä vastaa parhaiten työprojekteissa käytettyä menetelmää. Erona on se, että usein yksittäisiä tähyksiä on näkynyt useisiin pistepilviin. Tätä ei kuitenkaan kyseisessä laskennassa käytetty hyväksi. Georeferoinnissa ei myöskään otettu huomioon pistepilvien sijaintia. Sijainti antaa merkityksen valittaessa ja sijoitettaessa mustavalkotähyksiä mittaushaasteeseen. Kytkeä mustavalkotähyksiin valittiin jonona noin 4-5 pistepilven välein. Valinta olisi todellisuudessa tehty siten, että kriittiset paikat olisi valittu. Tällaisiksi pistepilviksi olisi valittu 1, 5, 10, 15, 19 ja 23 sijasta reuna-alueilta 1, 6, 9, 15, 18, 20 ja 23. Näillä valinnoilla olisi useissa pistepilvisä ollut myös yksittäisiä mustavalkotähyksiä takymetrimittausten kanssa. (Kuva 45.)



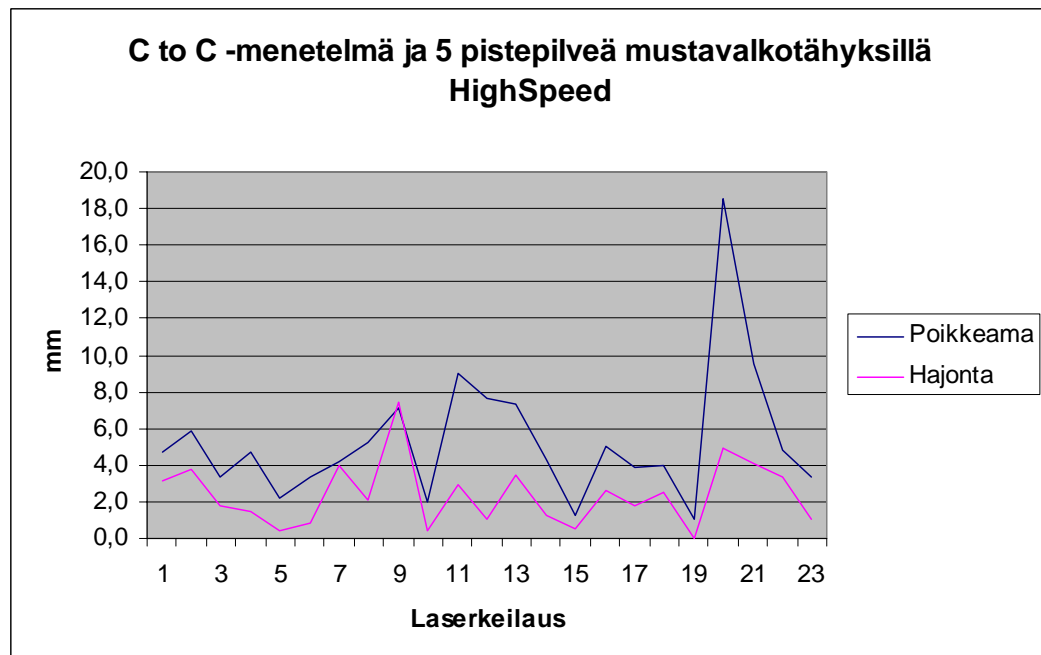
Kuva 45. Georeferoinnin eteneminen, kun kaikki pistepilvet on liitettynä cloud to cloud -menetelmällä verkkona ja 5 pistepilveä mustavalkotähyksissä mittaradan laserkeilausasemapaisteissa.

Mittausnopeuksien poikkeamien keskiarvot erosivat toisistaan enää vain vähän. Poikkeamien keskiarvot olivat NormalSpeed-mittauksella 7,2 mm ja HighSpeed-mittauksella 5,3 mm. Mittausten hajonnan keskiarvo oli NormalSpeed-mittauksella 2,8 mm ja HighSpeed-mittauksella 2,4 mm. [9; 10; 11.] (Taulukko 1.)



Kuva 46. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

Poikkeamat pienenevät jonona georeferoituun aineistoon verrattuna. Mittausnopeuksien poikkeavat tulokset oli suuri yllätys. Suurimmillaan poikkeamien keskiarvo olivat pistepilvessä 14115 NormalSpeed-mittauksella 23,3 mm (kuva 46) ja HighSpeed-mittauksella pistepilvessä 14128 18,5 mm (kuva 47). Lähtöpisteeseen poikkeama viimeisellä keilauksella oli NormalSpeed-mittauksella 6,8 mm ja HighSpeed-mittauksella 3,3 mm. [9; 12; 14.]



Kuva 47. Poikkeamien ja hajonnan käyttäytyminen georeferoinnissa.

6 Tulosten käsittely

Mittaradasta tuli juuri halutun kaltainen. Mittaradalle mitattiin apupisteitä, ja niiltä tehdyllä vapaan asemapisteen orientoinneilla oli suurimmillaan virhettä 0,3 mm. Lähtöpisteiden ja takymetrimittausten vaikutus lopputulokseen oli siis vähäinen. Laserkeilauksia kertyi kaikkiaan 46 kahdella eri mittausnopeudella, ja niistä tehtiin erilliset georeferoinnit. Georeferoituihin pistepilviin kertyi pisteitä 231 534 540 NormalSpeed-mittauksella ja 231 429 394 HighSpeed-mittauksella. HighSpeed-mittauksella kertyi vain 105 149 pistettä vähemmän. Pistemäärien ero oli vain 0,45 %. Georeferointien tulokset olivat samanlaiset molemmilla mittausnopeuksilla lukuun ottamatta cloud to cloud -menetelmää verkkona. Kyseisessä georeferointiparissa lopputulokset poikkesivat toisistaan 6,1 mm. Mittausnopeuksien erojen keskiarvot poikkesivat toisistaan vain 0,6 mm. Mittausnopeus ei siis vaikuta georeferointien tarkkuuteen eikä pistemääriin.

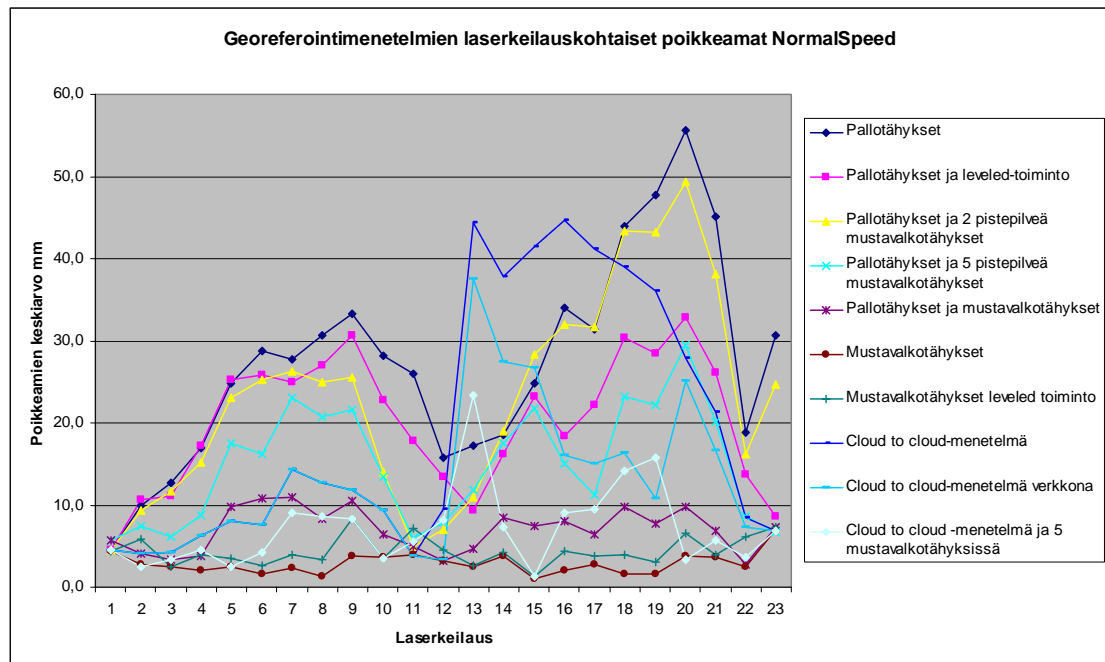
Taulukko 1. Georeferointimenetelmien poikkeamien keskiarvojen erot kummallakin mittausnopeudella.

	Normal mm	High mm	ERO (Normal - High) mm
1. Pallotähykset	27,3	27,7	-0,4
2. Pallotähykset ja leveled-toiminto	20,0	20,9	-0,9
3. Pallotähykset ja 2 pistepilvet mustavalkotähykset	23,0	22,6	0,4
4. Pallotähykset ja 5 pistepilvet mustavalkotähykset	14,9	15,2	-0,3
5. Pallotähykset ja mustavalkotähykset	7,0	7,1	-0,1
6. Mustavalkotähykset	2,9	3,1	-0,2
7. Mustavalkotähykset leveled-toiminto	4,4	4,2	0,2
8. Cloud to cloud -menetelmä	19,3	19,8	-0,4
9. Cloud to cloud -menetelmä verkkona	12,9	6,8	6,1
10. Cloud to cloud -menetelmä ja 5 mustavalkotähyksissä	7,2	5,3	1,8
Keskiarvo			0,6 mm

Cloud to cloud -menetelmällä verkkona tehty georeferointi osoitti laadunvarmistuksen ja tähysten merkityksen. Pistepilvissä pitää olla mustavalkotähyksiä vaikka niitä ei olisi mitattukaan takymetrillä. Mustavalkotähykset ovat yksiselitteisiä, kun ne on mallinnettu automaattityökaluilla. Automaattityökalutkaan eivät aina mallinna tähyksiä oikein. Tämän vuoksi on tärkeää tarkastaa ne visuaalisesti. Kyseisen kaltaiset virheet voidaan

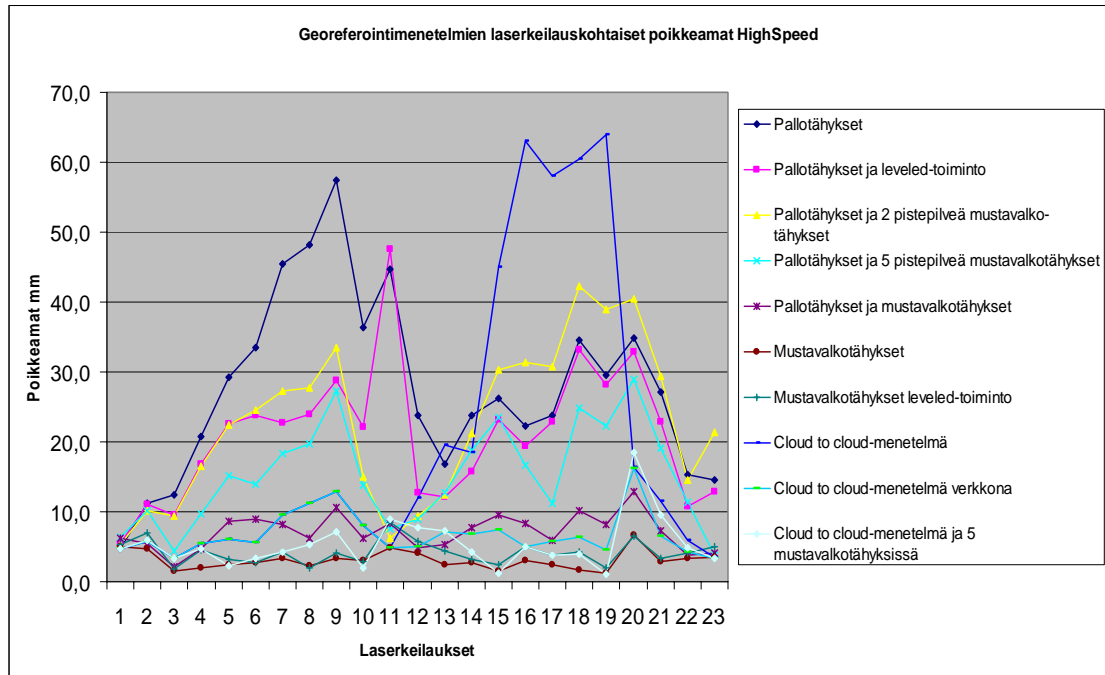
näin välttää ja ongelmalliset georeferointipaikat havaitaan helposti. Mittausnopeus vaikuttaa kylläkin hajontaan ja reunaalueiden pistevirheisiin. Tämä on otettava huomioon mallinnettaessa kohteita. [4; 5; 6.]

Georeferointimenetelmien vertailu osoittautui sekä odotusten mukaiseksi että yllätykselliseksi. Pallotähyksillä suoritettu georeferointi oli odotetusti kaikkein heikoin. Sen laatua ei parantanut edes leveled-toiminnon käyttö. Myöskään 23 laserkeilauksen georeferoinnissa ei riittä pallojen lisäksi 2 pistepilven kiinnittämistä takymetrimittauksiin mustavalkotähyksillä. Tämä johtuu jonogeometrian tuomasta virheiden kasautumisesta. Näillä kolmella menetelmällä ei päästy alle 20 mm:n keskiarvopoikkeamaan. Kun mustavalkotähyksillä kiinnitettiin joka viides laserkeilaus, päästiin poikkeamissa keskiarvossa n. 15 mm:n arvoon (Kuva 48.). [4; 5; 6.]

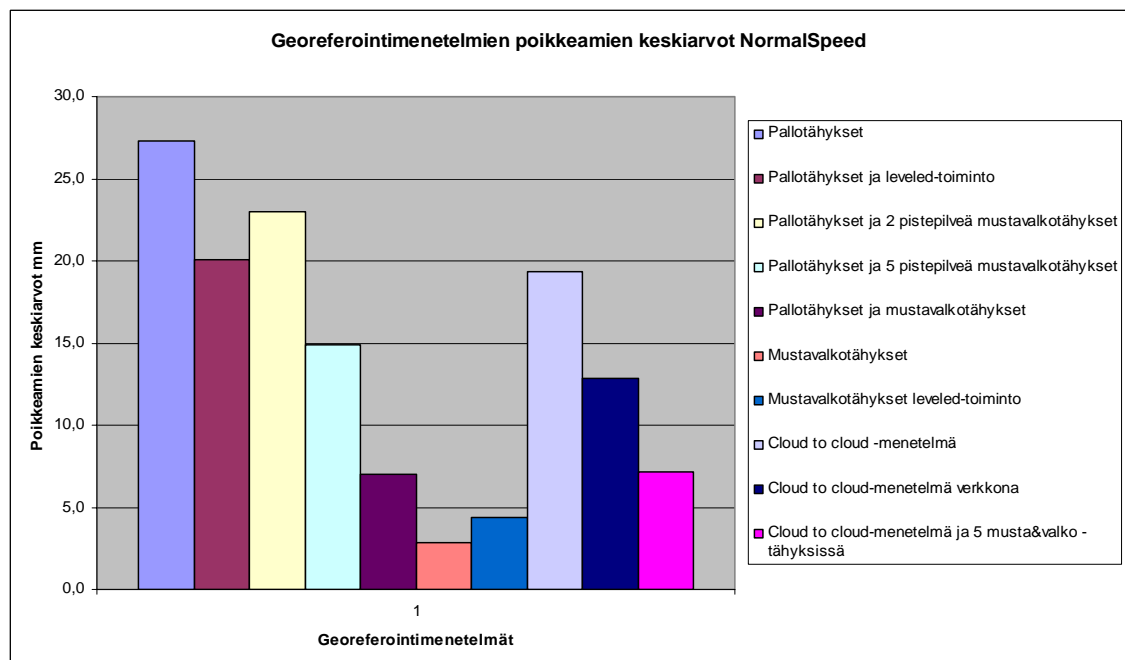


Kuva 48. Georeferointimenetelmien keskiarvojen erot laserkeilauksittain NormalSpeed-mittauksella [9, 11].

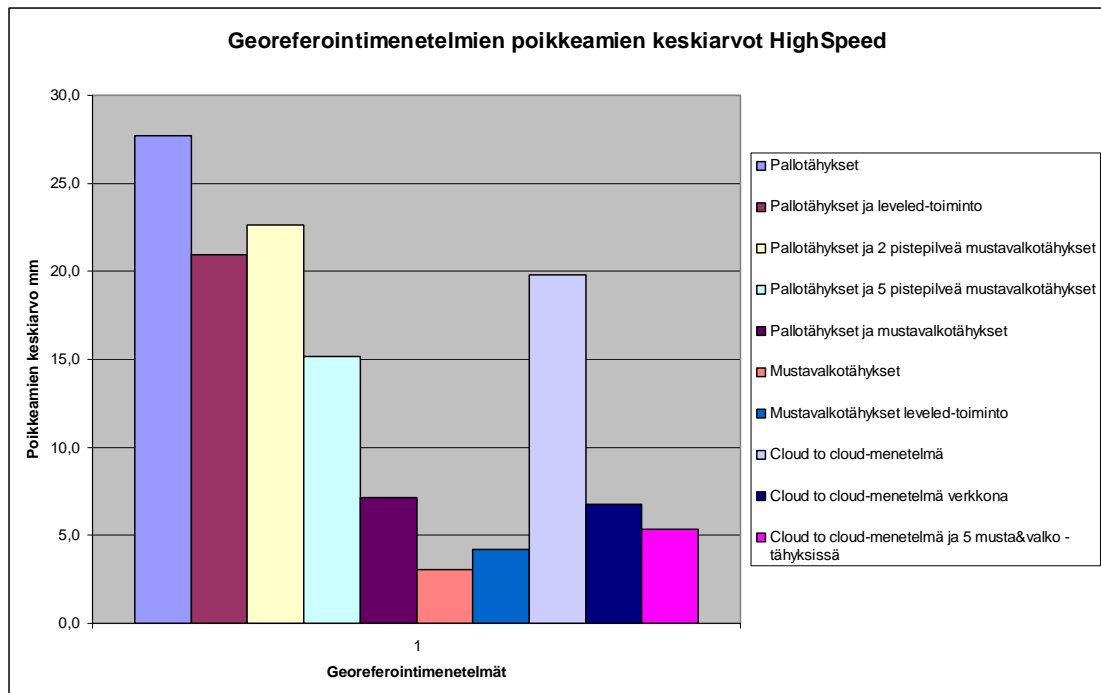
Kaikilla pallotähyksillä ja mustavalkotähyksillä päästiin jo erittäin hyvään arvoon eli n. 7 mm. Georeferointia heikensi edelleen pallotähysten epätarkkuus. Pelkillä mustavalkotähyksillä saatiin keskiarvoksi vain n. 3 mm, joka oli odotettua parempi arvo. Seuraavassa georeferoinnissa tarkasteltiin leveled-toiminnon vaikutusta mustavalkotähyksiin. Näiden yhdistäminen heikensi keskiarvoa yli 4 mm:iin.



Kuva 49. Georeferointimenetelmien keskiarvojen erot laserkeilausittain NormalSpeed-mittauksella [9; 11].

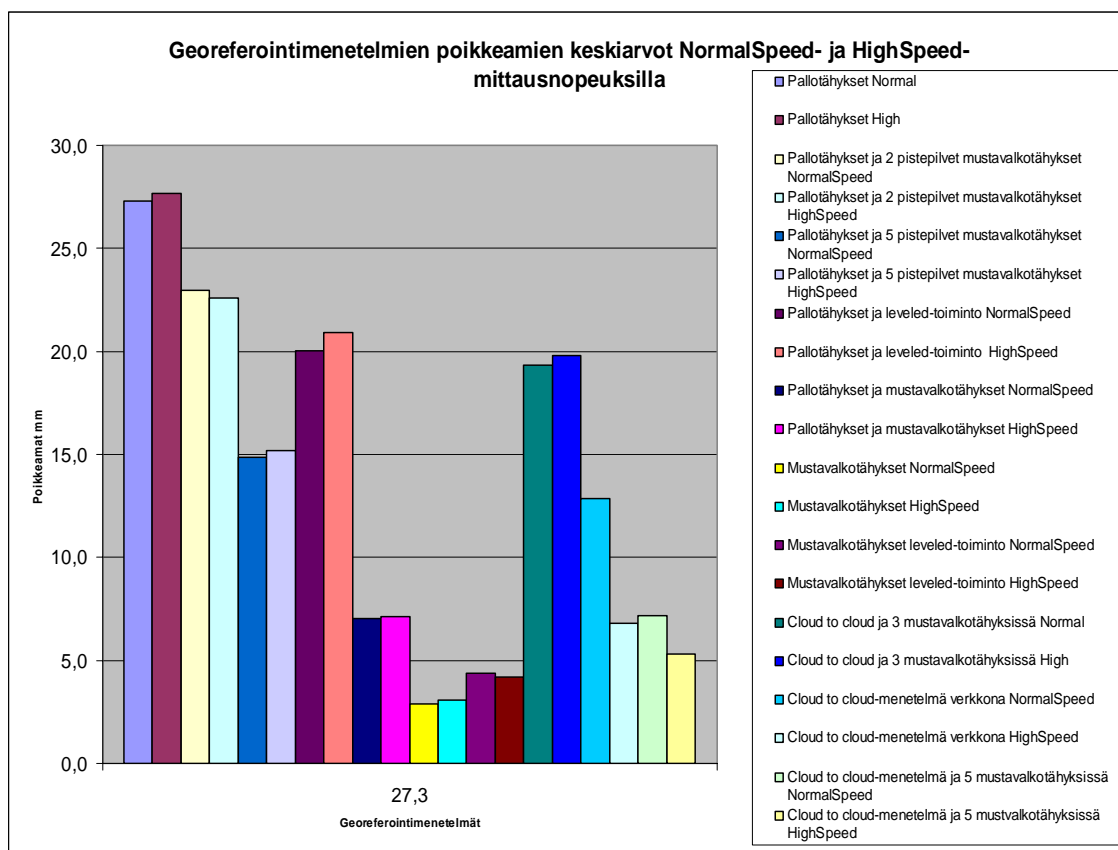


Kuva 50. Georeferointimenetelmien keskiarvojen erot NormalSpeed-mittauksella [9; 11].



Kuva 51. Georeferointimenetelmien keskiarvojen erot HighSpeed-mittauksella [9; 11].

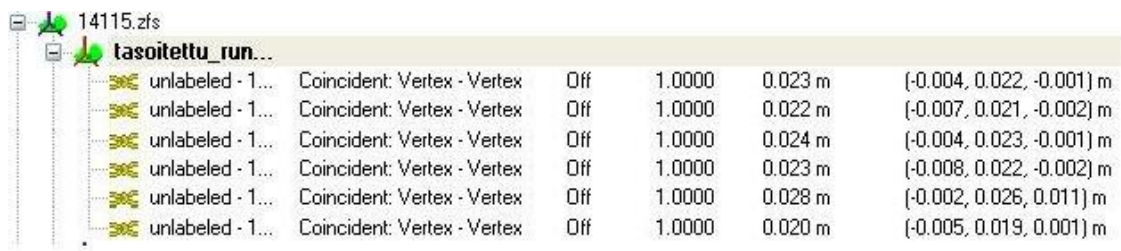
Yllätyksellisin tulos saatiin cloud to cloud -menetelmällä. Menetelmän odotettiin olevan erittäin hyvä ja liki mustavalkotähyksien luokkaa. Tämä osoittautui kuitenkin vääräksi arvioksi. Cloud to cloud -menetelmällä poikkeamien keskiarvo nousi jononaisena georeferointina 20 mm:iin. Poikkeamat kasvoivat suuriksi georeferoinnin loppuosalla, kun palattiin avaraan aulatilaan. Laskenta ei toiminut odotusten mukaisesti avariien tilojen kohdalla. Avarassa tilassa oli mahdollista linkittää verkkomaisesti pistepilvet useampaan pistepilveen. Toiseksi viimeisessä georeferoinnissa tarkasteltiin linkitysten lisäämistä. Kyseinen georeferointi paransi merkittävästi HighSpeed-mittauksen georeferointia. Poikkeamien keskiarvo oli kyseisellä georeferoinnilla n. 7 mm. NormalSpeed-mittausnopeudella georeferoinnin poikkeamat jäivät yli 12 mm:iin. Tämä osoitti sen, että mustavalkotähyksien käyttö referenssipisteinä on välttämätöntä. [5; 9; 11.]



Kuva 52. Georeferointimenetelmien keskiarvojen poikkeamat laserkeilauksittain molemmilla mittaussnopeuksilla [9; 11].

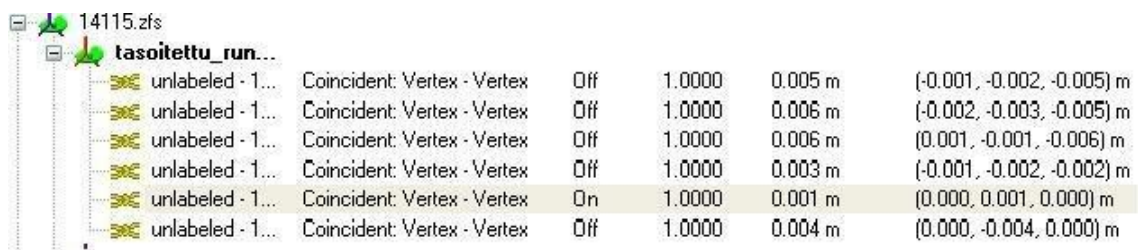
Mittauskohteissa nopein työn aloitus ja tehokkain eteneminen saavutetaan pallotähyksillä. Pallotähykset eivät kuitenkaan ole hyviä georeferointia ajatellen. Pallotähyksiä voidaan käyttää vain cloud to cloud -menetelmän osoituspisteinä georeferoinnin helpottamiseksi. Erityisesti ne sopivat kohteissa, kuten tunneleissa erinomaisesti osoituspisteiksi, koska tällaisissa paikoissa ei aina ole hyviä yhteisiä vastinkohteita (kuva 52). [4; 5.]

Mustavalkotähysten mittaaminen takymetrillä on usein aikaa vievää ja monin paikoin hankalaa, jos halutaan kaikki pistepilvet georeferoitavan takymetrimittaksiin. Laserkeilauksissa tulee olla vähintään 5 keilauksen välein vähintään 4 mustavalkotähystä, jotka on mitatut takymetrillä. Kaikkien pistepilvien georeferointiin kannattaa käyttää cloud to cloud -menetelmää. Näiden välillä tulee olla myöskin mustavalkotähyksiä, joilla pystytään arvioimaan georeferoinnin laatua. Yhdenkin mustavalkotähyksen merkitys voi olla merkityksellinen (kuva 54). Tällä menetelmällä saavutetaan kustannustehokas ja laadullinen pistepilviaineisto. [4]



unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.023 m	(-0.004, 0.022, -0.001) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.022 m	(-0.007, 0.021, -0.002) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.024 m	(-0.004, 0.023, -0.001) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.023 m	(-0.008, 0.022, -0.002) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.028 m	(-0.002, 0.026, 0.011) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.020 m	(-0.005, 0.019, 0.001) m

Kuva 53. Laserkeilaus 13:n laskentatulokset ilman tähysten käyttöä laskennassa (kuva 46) [4].



unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.005 m	(-0.001, -0.002, -0.005) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.006 m	(-0.002, -0.003, -0.005) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.006 m	(0.001, -0.001, -0.006) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.003 m	(-0.001, -0.002, -0.002) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.001, 0.000) m
unlabeled - 1...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.004 m	(0.000, -0.004, 0.000) m

Kuva 54. Laserkeilaus 13:n yhden tähyksen vaikutus pistepilven laskentatulokseen (kuva 46) [4].

Hajonta osoitti useassa tuloksessa sen, että suuremmissa poikkeamissa oli myös suurempi hajonta. Tämä osoitti siis sen, että kyseisillä pistepilvillä oli keskenään ristiriitaisia tähyksiä. Ristiriitaisten tähysten poisto laskennasta olisi saattanut parantaa laskentatulosta merkittävästi.

Työssä ei georeferointimenetelmänä käytetty kohteiden mallinnusta. Tätä menetelmää käytetään vain tilanteissa joissa muiden menetelmien riittävä laatu halutaan tarkastaa. Tällaiset ovat yleensä pieniä kohteita, joissa eivät pistemäärät aina riitä C to C -menetelmän laadunvarmistukseen. Suurten pistepilvilviaineistojen (50–100 laserkeilausta) georeferoinneissa erityisesti putket ja tasot hankaloittavat laskentaa pahasti eikä laskennan tuloksia voida pitää luotettavina. [4; 5; 6.]

Taso- ja korkeuskoordinaattierojen poikkeamien jakautumista tarkasteltiin tarkemmin kahden georeferoinnin osalta. Tarkasteluun valittiin mustavalkotähyksillä ja cloud to cloud -menetelmä, jossa 5 pistepilveä mustavalkotähyksillä liitetty takymetrimittauksiin. Molemmissa tarkasteltavissa georeferoinneissa suurimmat poikkeamat tulivat korkeusarvolle. Poikkeamat kasaantuivat Z-arvolle 38 % ja 46 %. Tasaisella jakaumalla arvot olisivat olleet noin 33 %. (Taulukko 2.)

Taulukko 2. Taso- ja korkeuskoordinaattien poikkeamavertailu

	Verkko ja 5 targets			Musta&valko -tähykset		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Poikkeaman keskiarvon suuruus	2,943089	3,00813	3,650407	1,113821	1,081301	1,861789
% osuus	30,7	31,3	38,0	27,5	26,7	45,9
Tasaisesti jakautunut	67 %		33 %	67 %		33 %
XY ja Z poikkeamien suhde %	62		38	54		46
Poikkeamat yht.	9,601626			4,056911		

Leveled-toimintoa ei pääsääntöisesti tule käyttää georeferoinnissa. Kyseisen toiminnon vaikutus georeferoinnin laadun parannukseen on erittäin pieni. Georeferoinnin voi toisaalta sotkea yksikin laserkeilaus, joka on mitattu tasaamattomalla laserkeilaimella.

7 Yhteenveto

Tutkimus osoitti selkeästi georeferoinnin merkityksen aineiston laatuun. Oletetusti mustavalkotähykset olivat yksiselitteisyyden johdosta selkeästi paras tulos. Sen vaativin osuus projektityöskentelyssä on takymetrimittaukset. Takymetrimittaukset ovat aikaa vieviä ja monin paikoin hankalia toteuttaa kustannustehokkaasti. Kustannustehokkain tulos saavutetaan siten, että käytetään yhdistetysti cloud to cloud -menetelmää ja mustavalkotähyksiä. Joka viides pistepilvi tulee olla liitetty mustavalkotähyksillä ha-luttuun koordinaatistoon. Näiden välillä olevilla laserkeilauksilla tulee olla myös yhdistämiseen mustavalkotähyksiä, joiden ei tarvitse olla oikeassa koordinaatistossa, vaan niitä käytetään vain keskinäisiin pistepilvien yhdistämisiin. Jonomaisen laserkeilauksen sijaan tulee korostaa verkkomaisen rakenteen merkitystä. Tämä edellyttää ja vaatii hyvää mittausten suunnittelua jossa huomioidaan laatukontrollin riittävyys. Tällä menetelmällä päästään kustannustehokkaasti alle 1 cm:n poikkeamaan.

Pöyry Finland Oy:n projektityöskentelyssä on käytetty kokemusperäisesti tällaista menetelmää. Nyt kokemuspohjalle on saatu tutkimuksellista tietoa. Pöyry Finland Oy:lle laaditaan tämän tutkimuksen pohjalta laserkeilausprojekteille uudet laserkeilaus- sekä georeferointiohjeet projektityöskentelyyn. Tutkimuksen pohjalta parannetaan laadunvarmistus- ja dokumentointimenetelmiä.

Lähteet

- 1 Leica Viva TS15 Tekniset tiedot. 2011. Leica Geosystems AG.
- 2 Leica HDS6200 Tekniset tiedot. 2011. Leica Geosystems AG.
- 3 Cyclone 3.0.5 Basic Training: Basic Training Course. 2001. Cyra Technologies, inc.
- 4 Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Esitelmä 30.11.2006.
- 5 Koski, Jarkko. 2002. Laserkeilauksen perusteet ja Cyrax 2500-laserkeilausjärjestelmä. Insinöörityö: Espoon-Vantaan tekninen ammattikorkeakoulu.
- 6 Joutsen, Olavi. 2010. Pöyry Finland Oy:n maalaserkeilausdatan mallinnusohjeet. Vantaa: Pöyry Finland Oy.
- 7 Boehler, W; Bordas, Vincent, M; Marbs A. 2003. Investigating Laser Scanning Accuracy, University of Applied Sciences.
- 8 Kolmiulotteinen yhdenmuotoisuusmuunnos. 2010. Verkkodokumentti Maanmittauslaitos.
<<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/muunnokset/kolmiulotteinen-yhdenmuotoisuusmuunnos>> Luettu 12.12.2011.
- 9 Salmenperä, Hannu. 2001. Virheteorian ja tasoituslaskun alkeet. Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- 10 Boehler, W; Bordas, Vincent, M; Marbs A. 2003. Investigating Laser Scanning Accuracy, University of Applied Sciences.

- 11 Heinonen, H; Kuparinen, A; Lindholm, B. 1984. Mittamiehen käsikirja, a. Ilmonen Oy.
- 12 Mechelke, K; Kersten, Thomas P; Lindstaedt, M. 2007. Comparative Investigation into the accuracy behaviour of the newgenerations of terrestrial laser scanning systems. HafenCity University Hamburg.
- 13 Santala, Jaakko. 2002. Kaikki mittalaitteet mittaavat väärin!. Maankäyttö 1/2002 s. 21–24.
- 14 Meid, Alfons; Sandwith, S. Dynamic Weighting of Laser Tracker Measurements for Bundle Adjustment. 2011. Leica Geosystems AG; Boeing.

Liite 1
1(20)

Valentijaset Norm. Normal Speed																								
		14089	14091	14093	14095	14097	14099	14101	14103	14105	14107	14109	14112	14115	14117	**** 2	**** 1	14123	**** 1	14127	14129	14131	**** 1	**** 2
		14090	0.005	0.011																				
		14091	0.005	0.011																				
		14092	0.005	0.012																				
		14093	0.005	0.012																				
		14094	0.005	0.012																				
		14095	0.005	0.012																				
		14096	0.005	0.012																				
		14097	0.005	0.012																				
		14098	0.005	0.012																				
		14099	0.005	0.012																				
		14100	0.005	0.012																				
		14101	0.005	0.012																				
		14102	0.005	0.012																				
		14103	0.005	0.012																				
		14104	0.005	0.012																				
		14105	0.005	0.012																				
		14106	0.005	0.012																				
		14107	0.005	0.012																				
		14108	0.005	0.012																				
		14109	0.005	0.012																				
		14110	0.005	0.012																				
		14111	0.005	0.012																				
		14112	0.005	0.012																				
		14113	0.005	0.012																				
		14114	0.005	0.012																				
		14115	0.005	0.012																				
		14116	0.005	0.012																				
		14117	0.005	0.012																				
		14118	0.005	0.012																				
		14119	0.005	0.012																				
		14120	0.005	0.012																				
		14121	0.005	0.012																				
		14122	0.005	0.012					</															

[illegible]

[illegible]

Munakavako		tahykyset		Normal Speed																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
------------	--	-----------	--	--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

	Verko ja 5 targets				Musta&valko -tähykset		
	X	Y	Z		X	Y	Z
	2	0	3	2	0	2	
	0	1	4	0	2	3	
	1	0	4	0	0	4	
	1	1	0	1	1	0	
	0	1	2	0	1	3	
	1	1	0	1	1	1	
	1	1	1	1	1	2	
	1	0	2	0	1	1	
	1	2	2	0	1	1	
	0	1	5	0	0	3	
	1	3	3	1	2	1	
	1	0	1	0	0	0	
	2	1	3	0	2	2	
	2	1	3	0	1	1	
	2	0	2	0	0	1	
	1	1	1	0	2	0	
	1	3	9	0	1	0	
	1	1	1	1	1	2	
	0	2	1	0	2	0	
	1	3	1	1	3	1	
	2	2	1	2	2	0	
	2	1	0	2	2	0	
	2	2	7	2	2	7	
	2	3	1	2	3	1	
	4	1	8	4	1	8	
	1	0	1	1	0	1	
	3	1	3	3	1	2	
	2	1	2	2	1	2	
	2	1	3	2	1	3	
	1	1	2	1	1	1	
	2	3	3	1	2	0	
	0	5	2	1	1	1	
	0	2	5	0	3	0	
	3	2	4	1	1	0	
	2	13	8	1	2	0	
	0	6	4	0	3	1	
	2	0	0	2	0	0	
	2	0	6	2	0	6	
	1	1	1	1	1	1	
	2	2	6	2	2	6	
	1	0	2	1	0	2	
	3	0	0	3	0	0	
	1	1	1	1	1	1	
	4	5	7	2	1	2	
	2	4	1	0	0	5	
	3	2	9	0	2	5	
	4	5	2	3	1	3	
	0	5	1	1	1	3	
	3	21	2	2	2	2	
	2	19	5	1	0	1	
	1	17	4	5	2	1	
	7	18	0	3	1	3	
	5	17	5	1	1	1	
	4	21	3	0	2	2	
	12	4	3	4	1	4	
	1	10	11	4	1	2	
	1	3	6	2	1	6	
	2	3	0	0	1	1	
	0	2	0	1	1	0	
	1	4	2	1	1	2	
	2	7	12	2	0	0	
	1	1	3	2	0	0	
	0	3	0	0	1	0	
	1	2	5	0	0	3	
	2	3	5	1	1	0	
	1	1	5	1	1	3	
	1	2	2	0	0	2	
	0	1	0	1	2	2	
	0	4	0	1	2	2	
	1	2	11	1	1	3	
	2	1	1	1	0	5	
	1	4	3	1	2	2	
	0	0	0	0	1	0	
	1	1	1	1	1	0	
	1	1	0	1	1	0	
	1	0	0	1	0	0	
	3	3	0	2	2	0	
	0	3	2	0	2	1	
	0	2	1	0	1	1	
	2	0	4	1	2	1	
	1	1	4	1	1	1	
	0	5	4	2	2	2	
	1	2	2	2	0	2	
	1	1	4	1	1	1	
	1	1	9	1	1	10	
	1	2	3	1	2	3	
	3	0	4	3	0	3	
	3	1	9	2	1	9	
	3	1	10	3	1	10	
	9	1	7	0	1	3	
	11	1	6	1			